

ダクタイル鉄管 NO. 63

DUCTILE IRON PIPES



協会創立50周年記念号



■福岡市水道局

夫婦石浄水場～東油山間共同管布設工事に採用された呼び径1800mmU形ダクタイル鉄管。(技術レポート参照)





■別府市公園緑地課

海門寺公園耐震性貯水槽設置工事に採用された呼び径2600mmLUF形ダクタイル鉄管。





■那覇市公園緑地課

天久公園に設置された呼び径2600mmLUF形ダクタイル鋳鉄製緊急貯水槽（容量200m³）。



富山市水道局

配水管布設工事に採用された呼び径200mmNS形ダクタイル鉄管。
(技術レポート参照)



■神戸市建設局下水道河川部

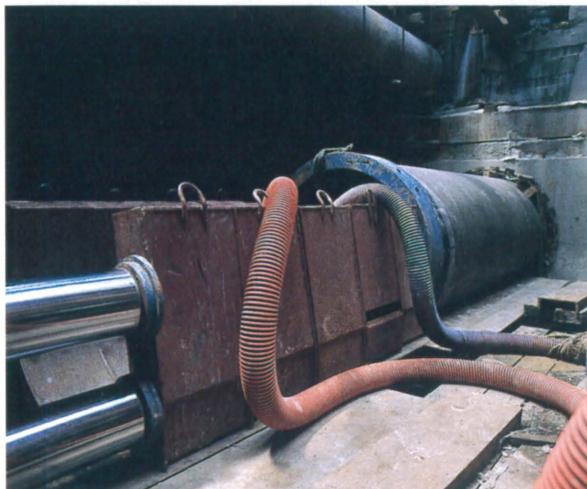
ポートアイランド水リサイクル事業の再生水管布設工事に採用された呼び径300mm S II形ダクタイル鉄管。



■鹿児島県大隅耕地事務所

特殊農地保全整備事業田之浦地区用水路工事に採用された呼び径1100mm U形ダクタイル鉄管（推進管）。





■沖縄県企業局

西系列導水管布設工事に採用された呼び径
1350mmUS形推進工法用ダクタイル鉄管。
(技術レポート参照)



倉敷市水道局

玉島八島地区に採用された呼び径500mmKF形ダクタイル鉄管
(スパン長15m)。

今号の概要

天源豊(天は豊かなる源なり) ----- 福岡市水道局水管理課主査 藤野恭裕(30)

市民の多くから「住みやすい都市」と評価を得ている福岡市は、反面、渇水都市でも知られており、その最大のものは昭和53年の大渇水であった。

これを踏まえて「節水型都市づくり」を行ってきたが、特に水運用面での効率化をめざすために①取水系統の複数化

②ダム貯水量状況による水源、取水管理 ③水管理センターによる効率的な配水 ④配水主管の連絡などを講じてきた。

本論では、これらの諸政策とともに、変革の時代に対応した施策を積極的に進めていきたいと述べている。

西系列幹線(大保～伊波)導水施設事業にダクタイトイル鉄管を使用して

沖縄県企業局経営計画課計画係長 名渡山兼男(36)

昭和47年の本土復帰後、浄水場建設、導水管の布設など多くの水道施設の整備を進めてきた結果、平成7年度で水道普及率は99.7%の水準に達している。しかし、今後も水需要量の増大が予想されるため、水源開発事業に着手しているが、耐震化を要する箇所にはS形管、US形管を、一般管路部には

K形管、U形管を採用した。

本論では、導水管については計画延長約132kmのうち79kmが現在供用中であるが、分散した施設の機能を発揮させ、効率的な施設管理の確立が今後の課題であると述べている。

耐震形ダクタイトイル鉄管(SⅡ形)による第7次拡張事業

福岡県川崎町水道課工務第1係長 藤川英則(47)

石炭産業とともに発展してきた川崎町は、平成12年を目標年次とする第7次拡張事業を執行中である。広域的水道整備計画に参画して合計給水量を1日1万2000m³とする計画給水量を設定し、ライフラインとしての水道施設の高機能化と安定化に努めている。

本論では、地盤の悪条件を抱えている川崎町がSⅡ形ダクタイトイル鉄管などを採用したことで建設費の増加は避けられなかったが、管路網の耐震性向上、内面耐久性の改善、水質への配慮が整ったのは大きな成果であったと述べている。

富山市における管路耐震化の実施概要 ----- 富山市水道局工務課主幹 東 輝雄(53)

阪神・淡路大震災の応急復旧などを通じて、想像を絶する甚大な被害を目の当たりにした富山市の職員の体験から、平成7年度からは通常の新設および更新事業には耐震継手SⅡ形ダクタイトイル鉄管に全面切り替えることになった。しかし、平成6年に新しいタイプのNS形が開発された

が、この継手は接合ミスがなく、管材費や接合労務費が若干安価であり、高度の技能が必要でない。また、成果品の品質向上が望め、技術力の向上と意識改革が期待できるなどの理由で、平成9年度より採用移行することにした、と本論では述べている。

US形ダクタイトイル推進管による長距離推進工事

八戸圏域水道企業団工務部計画課長補佐 大沢章宏ほか(62)

昭和49年から全国に先駆けてS形ダクタイトイル鉄管を採用して以来、現在では導送配水管のすべてにS形・SⅡ形の耐震管を採用している。

今回、白山浄水場から南高台配水池管を連絡する送水管路の一部を施工したが、交通事情、土質条件などの制約を受

けたが免震管路の特性を継承するために、US形ダクタイトイル鉄管を採用した。

本論では、管の選定は適切で、懸念された6m管という通常の推進管よりも長い管による方向修正も支障なく行うことができ、施工結果も予想以上の成果を得られたと結んでいる。

1997年鹿児島県北西部地震における水道管路被害調査結果

日本ダクタイトイル鉄管協会技術委員 戸島敏雄ほか(72)

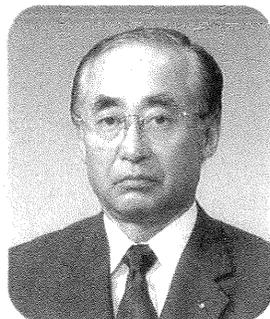
1997年3月26日に薩摩地方を震源とするM6.3の地震が発生した。その2ヵ月後の5月13日にも同地方を震源とするM6.2の地震があった。

本論では、現地で水道管路の被害状況、被害地点の地

形、地盤の亀裂状況などを調査した内容をまとめたものであるが、両方の地震ともダクタイトイル鉄管および鑄鉄管には被害は発生していなかったと結んでいる。

巻頭言

時代のニーズに即応した 水資源の開発に向けて



水資源開発公団
総裁 近藤 徹

■水資源開発公団事業の現状

水資源開発公団(以下「公団」という)は昭和37年に設立以来、水を安定的に供給し国民生活の向上と産業経済の発展に寄与し、心豊かなゆとりある生活を未来につなげていくことを使命として、利根川、荒川等全国の7つの水資源開発指定水系において、緊急性が高く広域かつ大規模な多目的のダムや水路等の水資源開発事業の促進に努めているところであります。

7水系の関係する地域はわが国の主要な地域をカバーし、その面積は全国土の15%ですが、人口は総人口の49%、工業出荷額は総工業出荷額の48%を占めています。

公団では各水系毎に定められた「水資源開発基本計画」に基づき、これまでに23のダム等(有効貯水容量38億 m^3)により7水系全体の93%に当たる約317 m^3/s の水を開発するとともに、17の用水路等(幹線水路延長約860km)により都市用水で106 m^3/s 、農業用水で232 m^3/s の水を導水しています。

こうした公団施設の効用発揮という点に関しましては、たとえば、福岡都市圏におきましては、平成6年は昭和53年の渇水よりも少ない史上最少の降水量

でしたが、この地域の水需要の約1/3をまかなうべく昭和53年以降に完成または供用を開始した寺内ダム、筑後大堰、福岡導水の各公団施設の一体的な運用等により渇水による影響を大きく軽減することができました。

また、東京都の水道水源事情に関しては、昭和39年のオリンピック以前は1日290 m^3 の水源量の50%近くを多摩川水系に依存し、恒常的に水不足の状況が続いておりましたが、公団による水開発が進んだ今日では、1日600万 m^3/d の水源量の77%を利根川水系の公団ダム等に依存するようになったことと、これに伴う多摩川水系の都水道局管理の小河内ダム等の水運用とが相まって水源事情が改善されるとともに、短期的な渇水であればただちには支障が出ない状況となっています。

公団は、現在、完成したダムや水路等の施設の管理を行うとともに、今後の水需給に対処するためのダムのほか、老朽化した水路の改築などを含む22事業について建設を実施し、2事業について実施計画調査を行っております。この間、平成8年度までに投下した事業費は約3兆3000億円に及んでいます。

■わが国の水事情

近年、各地で渇水が頻発しており、特に、平成6年度は全国的な大渇水に見舞われました。小雨傾向や水需要の増大とが相まって、渇水が発生すると取水制限や給水制限等により市民生活や社会活動に影響が生じる度合いが年々高まってきており、所要の水資源の開発・供給の安全度が確保されていない地域が多くなっています。

ちなみにわが国の水資源開発施設の整備水準を世界の主要都市と比較すると、その貯水量は人口1人当たりで東京は29m³/人であり、パリの94m³/人、サンフランシスコの527m³/人、ニューヨークの285m³/人に比べて立ち遅れている状況にあります。

また、全国の都市用水取水量の約7% (23億m³/年)は河川水が豊富にある時だけ取水可能な不安定取水に依存しており、とりわけ関東臨海部では都市用水取水量の約28% (17億m³/年)が不安定取水となっています。

来るべき21世紀は、水と国民生活や経済活動との関わりがますます多様化、高度化し、より高度な水利用社会に移行することが予見されることから、渇水による社会・経済への影響は現在よりも一層大きくなる恐れがあります。

こうした異常渇水に対する対策として節水対策並びに水の調整・融通、海水淡水化、下水処理水の再利用等の多元的な水開発があげられますが、根本対策である着実な水資源の開発の必要性がますます高まってきております。

■今後の取り組みについて

今日の水資源の開発を取り巻く状況を見てみると、ダム適地の減少、開発効率の

低下、多大な資金を要し事業が長期化すること、水源地域の整備と活性化等のほか、事業推進に際しての情報公開、コストの縮減、行財政改革への対応等の課題が山積しております。

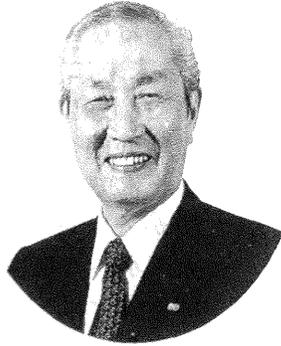
“潤いを未来に”をモットーとする当公団では、21世紀に向けて、

- ① 流域の健全な水循環系の確保と新たな水環境の創造
- ② 豊かで良質な用水の安定的供給と大渇水への積極的対応
- ③ 創造性と活力に富む地域と一体となった事業運営の確保

の3点を事業推進の目標に掲げ、種々の課題の解決を図りつつ“時代のニーズに即応した水資源開発を着実に進める”こととしております。

その際、特に利水者、住民の方々等の理解と協力を得、また、国民の合意形成を図ることに努めるとともに、良好な生態系の維持、良質な水質の確保、危機管理対策等の新たな取り組みを加えつつ、地方公共団体等が計画する施策等との緊密な連携による地域活性化に寄与する事業展開を図っていききたいと考えております。

終わりになりますが、当公団の霞ヶ浦用水や南房総導水路等においてダクトイル鉄管を使用し、貴協会には日頃より何かとお世話になっております。ユーザーのニーズに即したより良い、より低コストの鉄管の開発・普及に今後ともよろしくお取り組みいただくとともに、貴協会関係の皆様方におかれましては、特殊法人の整理合理化が話題に取り上げられることの多い昨今、水公団事業に対しまして一層のご理解とご支援をお願いいたします。



創立50周年 ごあいさつ

日本ダクティル鉄管協会
会長 三野重和

この度、当協会は創立50周年を迎えることとなり、その間、皆様方より賜りました数々の温かいご支援に対し、紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。

顧みますと、当協会は昭和22年10月、戦後間もない荒廃と混乱の中、鑄鉄管の製造技術の開発、改良と工場経営の改善ならびに原材料の確保を主な業務として設立されました。

以来50年間、当協会が、わが国の生活環境の整備と産業振興のためにいささかなりとも貢献することができましたのは、ひとえに先輩各位ならびに各界の皆様方の永年にわたるダクティル鉄管に寄せられましたご理

解とご指導の賜物であり、関係者一同、深甚なる敬意を表する次第でございます。

さて現在、21世紀を目前にして、経済のグローバル化、高度情報社会の進展、急速な高齢化等、わが国は社会的にも経済的にも大きな転換期を迎えております。

こうした中、当協会は50周年を機に、真に豊かさゆとりを実感できる社会の実現を支える、時代の要請に即したダクティル鉄管の開発、製造ならびに普及に一層の努力をいたす所存でございます。

ご関係各位におかれましては、従前にまさるご指導とご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。



創立50周年 にあたって

日本ダクタイル鉄管協会
理事長 菅原 弘

第2次世界大戦終結直後の昭和22年10月、現協会の前身である鑄鉄管倶楽部がその製造技術の開発および改良と、工場経営の改善ならびに原材料の確保等を目的に産声をあげてから、ちょうど50年が経過いたしました。

この間、先輩各位ならびに関係各界の皆様方のご指導とご支援の下に、一貫してわが国の生活環境の整備と産業振興のために微力を尽してまいりました。

当協会が目指す技術上の展開は大きな2本の柱に代表されましょう。

その1本は材質の開発・改良であります。

普通鑄鉄および高級鑄鉄といういわゆるネズミ鑄鉄の時代を経て、鋼に等しい引張強度に加えて伸びを有するダクタイル鉄管の誕生をみたのが、1954年(昭和29年)であります。

世界に先駆けての製造に成功したダクタイ

ル鉄管の出現によって、特に水道管路整備における鑄鉄管の貢献度は極めて高いものとなり、平成7年度のわが国の上水道事業での管路延長約49万8000kmのうち、47.1%を占めるに至りました。

鑄鉄管の機械的性質の一つである引張強さ(抗張力)は、当初、上水協議会規格として普通鑄鉄管で $12.5\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上と定められていました。

その後、1933年(昭和8年)水道協会規格の中に「水道用高級鑄鉄管規格」として引張強さ $25\text{kgf}/\text{mm}^2$ と規定されました。

1954年(昭和29年)に開発されたダクタイル鉄管は、最初の規格が1959年(昭和34年)に現協会の前身である鑄鉄管協会仕様書として制定され、引張強さ $36\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上、伸び3%以上と規定され、ここに鋼に匹敵する画期的鑄鉄管が名実ともに出現しました。

現在の規格は、1989年(平成元年)に改正

されたJIS規格により、引張強さ420N/mm² (42.8kgf/mm²)以上、伸び10%以上と規定されています。

技術開発の今一つの柱は、継手構造の開発、改良であります。

当初から使用されていた代表的継手形式は、C形と呼ばれるソケット形式で、継手部の隙間に打ち込まれた麻(ヤーン)の膨潤効果と、コーキングされた鉛によって水密性を保つものであります。

その後、伸縮性と可とう性に富み、施工もC形に比べてはるかに容易なA形と呼ばれるメカニカル継手が開発され、1957年(昭和32年)に鑄鉄管協会標準仕様書で呼び径75～900mmに対して制定されました。

この継手は、受口と挿し口の間に角ゴム輪を装着し、これを押輪を介してボルトで強固に締め付ける構造であり、その後の改良メカニカル形(K形)は現在の主流構造であります。

このほか、シールド内配管継手、離脱防止継手、また、非開削工法としての推進工法管の開発やパイプ・イン・パイプ工法用継手の開発等、絶ゆまぬ技術研鑽を続けております。

しかし、地震多発国のわが国にとって最も有効な継手の開発は、耐震継手の開発であります。

1964年(昭和39年)の新潟地震をきっかけとして研究開発が進められたこの継手構造は、1979年(昭和54年)に耐震用および耐軟弱地盤用として、伸縮・離脱防止形の接合形式であるS形およびSⅡ形として日本ダクタイ

ル鉄管協会規格となりました。

この形式を用いた管路の各継手は、鎖のように自由に伸縮・屈曲し、かつ、最終的には大きな抜け出し力に耐え得るような機能を有しており、阪神・淡路大震災をはじめとする大きな地震に対して、その有効性が広く実証されております。

継手の融通性が少ない「剛構造管路」、材質・構造の改良による「柔構造管路」を経て、現在ではこの「鎖構造管路」にユーザーの大きな関心が寄せられております。

大都市を中心とした苛酷な埋設条件や広い軟弱地盤での実績、大地震時における鎖構造管路の有効性等、ダクタイル鉄管の評価が今、あらためてなされております。

現在、ダクタイル鉄管の活用分野は、上水道を中心に下水道・工業用水道・農業用水・電気・通信・ガス等々、管路を必要とするあらゆる分野に及んでおります。

私どもは、当協会が目的とする鉄管の製造技術の開発・改良を絶え間なく行いながら、水の輸送路である鉄管を通じて、国民の生活環境の向上、ひいては社会基盤施設整備のお手伝いをしてまいりました。

協会創立50年という大きな節目を、21世紀へ向けての更なる飛躍台として、今後ともより広い分野で各界事業の発展にお役に立つべく、幅広い活動を展開してまいりたいと思っております。

どうぞ、関係する皆様方の変わらぬご指導とご支援を賜りますようお願い申し上げます。ご挨拶とさせていただきます。

| 特 | 別 | 寄 | 稿 |

鑄鉄管から

ダクティル鉄管へ

元 日本ダクティル鉄管協会常任理事
宮岡 正

序

古い時代の鑄鉄管から、つい40年前ダクティル鉄管が生まれる頃までの大雑把な話を辿ってみた。それ以降の正確な技術の軌跡は、ダクティル鉄管協会が、昭和41年の創刊号以来今回で第63号に至る年2回発行の機関誌「ダクティル鉄管」に細大もらさず情報公開されているので、一切触れないことにした。

できるだけ平易にと心がけたが、どうしても堅苦しくなりやすいので、所々にティータイムのつもりで、私個人の見聞を「茶話」として挿入した。

他の機関、他の会社、他の人々の広範で正確な歴史がまだまだあるはずだが、私の力及ばず、お許しいただきたい。

第1章 金属の起源と初期の鑄鉄管

1. 金属の起源

われわれの先祖は、いつの頃から金属の存在を知り、どのようにしてこれを利用するの

を知ったのであろうか。

何事によらず、その歴史を尋ねることは興味深いことであり、また、必要なことでもある。たとえば、大海に乗り出した船員が自分の位置を定め、進むべき航路を知るためには、経過してきた航跡を知らねばならないのと同じようなことであらうか。

近代文化の基礎となった古代文明をまず開いたのは、豊かな気候と水に恵まれたエジプトであらう。有史の当初からすでにエジプト人は金属を知っていたが、最古の金属製品で現在保存されているのは、スネフル王（BC2600年頃）の小さな銅笏である。しかし、王の時代よりも遥かにさかのぼる太古の自然人の時代から銅は利用されていたと考えられる。なぜならば、元来、銅は自然銅の形で存在できたし、のちに容易に鉱石から分離できることも知ったはずであらうからである。

考古学者の推測では、太古の自然人が炊事用窯を築いた岩石の中に、たまたま銅鉱石が混ざっており、熱によって溶け出したことから溶解という秘訣を知ったと想像される。

また、一説には陣營の焚火の周囲を石で囲ったところ、偶々銅鉱石の破片が焚火中の木炭で還元されて金属銅が分離されたとも考えられる。あるいは山火事という説もある。いずれにしても、流れ出した溶銅が岩石あるいは土砂の凹みに溜り、自然にその形を形成したのを見て、あらかじめ型を用意すれば望みの形の物ができることも知ったのであろう。

ちなみに純銅の熔融温度は1083℃と比較的低く、しかも他の金属、たとえば錫などが混じるとさらに低くなる。これが青銅といわれるものである。

現在考古学者の多くは、石器時代の次に銅（または青銅）時代があり、その次が現今の鉄時代がきたと考えている。

ピラミッドの石畳からナイフ

すでにBC3000年頃、硬い花崗岩をもってピラミッドが建造されている。ギリシャの歴史家ヘロドトスは、ピラミッドの工事に鉄製の道具が使用されたに違いないと推定した。果たせる哉、19世紀にイギリスの調査隊がクフ王のピラミッドの礎石の一部を爆破して調べたところ、石畳の間から鉄製のナイフが発見された。分析の結果、錬鉄であることがわかった。鉄は自然鉄としては産出しない。鉱石を半熔融状態にして取り出した海绵鉄を何度も赤熱しては鍛える方法で造ったのであろうから、当時すでにかんりの技術があったものと考えられる。

アッシリア王宮の宝物

ピラミッド築造からさらに時代が下ってBC700年頃に造営されたアッシリア王宮の遺跡からは、160トンにも及ぶ鉄製の宝物が発見された。中には刀剣、甲兜、鉄器、鉄鎖、鋸なども発見されている。

2. 初期の鑄鉄

鉄が自然鉄としては存在しないことは先にも述べた。

鉱石から鉄を取り出すことは銅より遥かにむ

ずかしい。人類が初めて鉄を知ったのは隕鉄であろうとするチンメルという学者の説もある。いずれにしても有史以前から人類が鉄を知っていたことは事実であるが、どうして知ったかはなお不明である。

ところで先に鉄といい、あるいは錬鉄といい、今また鑄鉄なる語が出てきた。一般に鉄といえば総称することが多い。しかし厳密にはそれぞれ特性があり、区別して使われる。そこで稍やこしいが“相”の話をしておかねばならない。

人には人相というものがあって、初対面の人でも顔形、目鼻立ち、眉や皺などの特徴からなんとなくその人の性格が浮かんでくることが多い。その人相も境遇の変化や結婚によっても変わることもある。大学の冶金学科に入学した最初の講義が金相学だったので、金にも相があるのかと思ったことだった。金相も人相も同じようなことだ。ひと口でいえば、各金属元素の分子の特性やその配列の仕方、それが低温や高温でどう変わるか、固体と熔融状態ではどうなるか、他の元素と混じったり、結びついて合金になればその特性や挙動がどうなるかなどを究明する学問である。

その金相学の観点から、いわゆる鉄というものを見てみよう。

鑄鉄と鋼の区別

ひと口に鉄といっても各種の不純物を含んでいる。たとえば炭素、リン、硫黄、銅、珪素、マンガンなどである。なかんずく炭素はもっとも重要な役割をもっており、鉄材の分類の基本となっている。炭素を1.7~4.5%含有しているものを鑄鉄、炭素を0.05~1.7%含むものを鋼と呼んでいる。もっとも炭素1.7%を境にして、性質が急激にまったく一変するのではなく、また、他の元素の存在によっても多少影響されるから、厳格な区画ではない。鑄鉄と鋼のそれぞれの特性の違いの中で、もっとも特徴的な点は鑄鉄の方が少し熔融温度が低く、鑄造しやすいということである。

中世における大砲と鑄鉄管

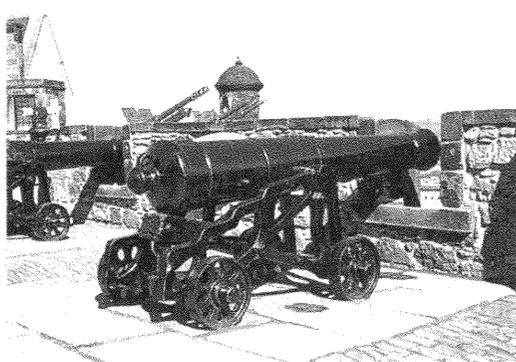
鑄鉄鑄物は初めの頃は主として戦闘用の小道具類の製造に使われた。その後次第に大型化し、1311年にドイツで、1345年にイギリスで本格的な大砲と砲弾が鑄鉄で鑄造された。続いてほぼ同時期に鑄鉄管が鑄造されたが、はっきりしているものでは1455年にドイツで水道管として布設されている。大砲も鑄鉄管も大きな中空円筒であり、同じ鑄造技術で造られたであろうことは容易に想像できる。むしろ鑄鉄管の方が薄肉で細長いだけに高度の技術を要したであろうと考えられる。したがって歴史的には兄弟のようなもので、一方は戦争目的であり、一方は平和目的であるだけの違いであった。歴史はめぐるといわれるが、日本で明治25年に起工した大阪市水道では大砲を造る設備があるからとて大阪砲兵工廠に大量の鑄鉄管を注文している。また、その頃鑄鉄管の製造を手がけた久保田権四郎氏は砲兵工廠の技師を招聘している。両者の間に堺の鉄砲鍛冶の伝統技術が生かされているのではなかろうかとも思う。

(茶話) 大砲のこと

大砲の鑄造はそれまでは主に青銅をもってされていた。しかし材質的に強度が不足しており、代って鑄鉄製が現われた。当時の戦史に次の一文がある。「いかなる城壁も鉄の弾丸には敵わなかった。例えば4メートルの厚さをもった城壁や、岩壁上の近づき難い位置などのために、中世には不落と思われた城壁も、ひとたび鉄製の砲弾が城壁を掠めて通ったならば、幾日ならずして廃墟と化して…」とある。今日ヨーロッパ各地の諸城を巡ってみても、大抵の城には眼下の敵を見おろせる位置に大砲が据えられている。多くは後世のものが多いが、中にはみごとな装飾や城主の名を鑄出した古い鑄鉄製のものも見ることができる。先年私がエジンバラ城で撮った写真をあげてみる。

次に中国の鑄鉄製大砲で一番古い銘の入っているのは明の「洪武十年」（1377年）とい

写真1 エジンバラ城の大砲



われる。ちなみに火薬は唐時代に中国で発明され、硝石、硫黄、木炭からなる黒色火薬とされる。

さて、日本では室町時代から江戸時代初めの間に石火矢（大砲）が用いられた。外国から輸入した南蛮砲（鑄造砲）、日本人の石火矢師による鑄造砲、日本独自の鉄製砲があった。日本に現存する最古の大砲は靖国神社に収蔵されており、「慶長十六年堺鉄砲鍛冶芝辻理右衛門」との銘がある。慶長16年は西暦1611年である。これは徳川家康の命で造られたとされ、大阪夏の陣でも使われたといわれる。

脱線しつつも、先ほど写真にあげたエジンバラ城を見学したときのことを思い出した。セントアンドリュース経由のバスでエジンバラに着いたのは夕刻であった。血なまぐさいスコットランド王室の古い歴史を秘めて、夕日を背にして丘上に立つ城のシルエットは、もの悲しくも美しいものであった。翌日その見学に出かけた。民族衣裳のタータン・キルト（スカート）姿の衛兵が門前に立っている。あのチェックのデザイン、つまり色合いや織り方、その組み合わせなどは各クラン（部族）、たとえばマック・ウェーン一族とかバーンズ一族とかそれぞれ伝説的に固有のものであり、一見してわかるそうである。

ところで、その日も観光客が多く、次々と珍しい姿の衛兵の側に立って並んで記念撮影していく。偶々ある愉快なお国柄の一団がにぎやかにやってきた。その中の2人の娘さん

が、いたずらっぽい笑顔で衛兵を中にしてポーズ。「チーズ」。パチッ。その瞬間、片方の娘が衛兵のキルトの裾をつまみ上げたのである。周囲がドッと沸いた。珍しく太陽がまぶしい午後だった。

鉄のつくり方

古代人の原始的な方法は土で窯を築き、底に薪を敷きつめ、その上に鉄鉱石を置き、横孔からフイゴで休みなく送風すれば、赤熱された鉱石の表面から徐々に溶けて溶鉄が滴下して底に溜る。窯が冷却するのを待ってこれを崩し、固まった鉄を取り出す方法によったとされている。15世紀頃には連続して製鉄できる溶鉄炉の原型が出来上がってきた。その頃は木炭を燃料としている。ところでイギリスでは次第に木材が不足し、エリザベス女王時代に伐採禁止令まで発布された。木炭の代りに石炭を使ってみたが成功していない。1621年に石炭を蒸し焼きしてコークスにすることが発明されて、やっと製鉄法の近代化の基礎が固まった。ところで、鑄鉄の鑄造には連続して大量の溶湯（溶けた鉄）は必要なく、製造する品物に応じて鑄型を用意し、必要なだけの溶湯があればよいわけである。そこで溶鉄炉から出た溶湯を小塊（なまこという）に固め、適宜再溶解して鑄型に鑄込む。この溶解炉のひとつがキュボラである。立型円筒形の筒状で、コークスを燃料としてなまこを溶かすのである。（キュボラの語源は円塔を意味するKuppel）。

〔茶話〕「キュボラのある街」

ご年輩の方は、昭和37年に「キュボラのある街」という映画が封切られたことを覚えておられるかも知れない。世の“サユリスト”ならずとも忘れ難い映画であった。黒煙とともに赤い焔をメラメラと吹き上げるキュボラは、日本の戦後復興の、それに続く高度成長の象徴のひとつでもあった。当時の若い現場の鑄造技術者にとっては、キュボラのあの赤い焔、出湯口からほとぼしり出る赤熱の溶

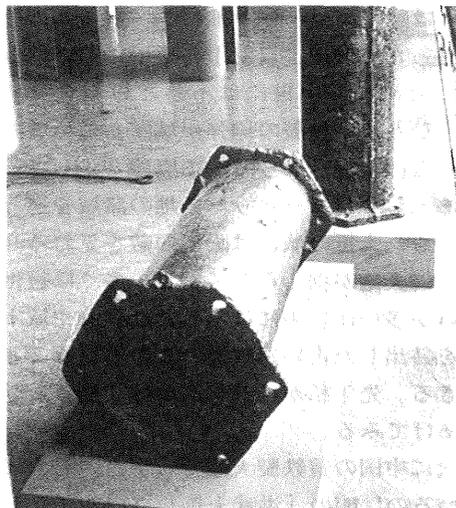
鉄、飛び散る汗玉（かんだま、こぼれ散る溶鉄の小滴）を見れば、血湧き肉踊るのを覚えたものであった。“やけど”などはちょっとした勲章みたいなもの。現代では時間当たり100トンの溶湯を造り出す巨大なキュボラも活躍しており、黒煙も粉塵も出ず、大気を汚すガスも出さないクリーンシステムに変革されているが、鉄を溶かす基本原理は今も昔も変わらない。

現存する最古の鑄鉄管

フランスではルイ十四世の時代にベルサイユ宮殿が造営された。そのとき15マイル離れたポンプ場からベルサイユまで鑄鉄管を布設して、宮殿と街に水を送った。その水道が現在も残っており、大庭園に噴水を吹き上げているすばらしい景観を見ることができる。

昭和45年に私は現（株）クボタ教育センター社長の長尾正三氏と2人で世界の鑄鉄管を尋ねて55日間世界一周の旅に出た。その途次フランスの片田舎ナンシーという町にある「鉄の博物館」で偶然にも、最初のベルサイユ工事に使用され、最近一部掘り上げられた管が保存されているのをこの目で確かめたことがある。写真はこのときに撮らせてもらったものである。

写真2 ベルサイユ水道に使用された
1664年製鑄鉄管



1664年から1668年にかけてフランスで鑄造されたもので、管長3.5フィートのフランジ管であった。口径は各種あった。最初に埋められた残りの管は今なお健全に機能を果たしている。

(茶話) ローマとポンペイの古代水道

先年イタリアを一周したことがあった。職業柄ローマの古代水道遺跡の一部と、ポンペイ遺跡の水道を見て、人智の偉大さに今さらのように驚き、先人の偉業に打たれたのであった。

多言を要しないが、ローマにはBC300年頃からAD220年頃までに10指に余る古代水道が造られた。たとえば市の中心から地下鉄に乗り、20分足らずでギリオ・アグリコ駅で下車、15分も歩けば容易にクラウディウス水道の遺跡に行き当たる。

写真3 クラウディウス水道の遺跡

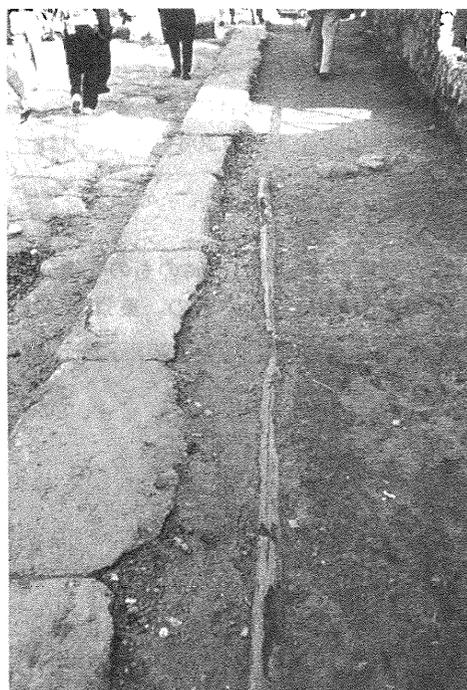


2000年も前によくこれだけの大構想が生まれ、よくもこれだけの大工事が遂行されたもの哉。

一方ポンペイは、今さらいうまでもなく、AD79年のベスピオの大噴火によって埋没した街であり、今日もなお発掘調査が続けられている。石畳で完全舗装されていた四方八達の道路下の諸処に露出している鉛管や分岐、浴場への配管、各戸の屋根から地下の水瓶に天水を導く土管など、現代を裏返しに再現して見せているような都市構造とその水道施設は

まったくすばらしいとの感銘を受けた。

写真4 ポンペイ遺跡に見る水道管



第2章 日本における鑄鉄管の黎明期 (明治時代)

1. ガス燈

暮れなずむ頃、ガス燈のある街をそぞろ歩けば、やがて港の街角や橋の辺りにほんのりと灯がともる。そのとき、旅人の心はなごみ、ロマンチックな想いに誘われたりする。

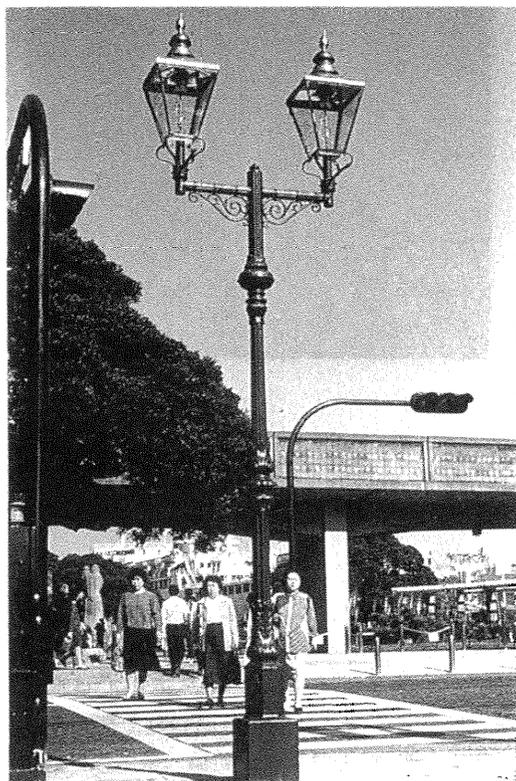
さて、明治5年のこと。新橋—横浜間に鉄道が開通した。その同年の同じ頃、横浜の街頭にガス燈がともされ、沿道の夜が賑わった。これが日本におけるガス事業としてのガス燈の嚆矢とされる。実業家高島嘉右衛門氏の偉業であり、さすがハイカラな港町のことである。

「瓦斯燈萬華鏡」によれば、点灯の日には、まるでお祭りのように遠近の人々が集ま

った。中には、青白い奇麗な火を見て「これはキリシタンの魔法だ。土の下に鉄の管を引いて、その中を魔法のガスが通るといふから、異人と戦いでもあると一度に口を開けて、日本人を皆殺しにするつもりかも知れない」などといひふらす人もいたという。人々の喜びと驚きの様子が目に浮かぶ。

ちなみに、土の下でガスを導いたのは8インチの鑄鉄管であった。

写真5 横浜のガス燈（当時のものを復元して山下公園に移したものの。東京ガス提供）



2. 横浜の近代水道

明治20年、ついに日本にも近代水道の幕が明けられた。この年、横浜で給水が始められたのである。市民はどれほどこのときを待ち望んだことであろうか。コレラの恐怖も去り、水汲みの重労働からも解放される日がやってきた。

引き続き函館、長崎という順に開港都市での

給水が始まった。だが当時使用された鑄鉄管は、イギリスやベルギーからの輸入品であった。

なお、昭和62年には、近代水道100年を祝って盛大な記念行事が行われた。

3. 鑄鉄管の国産化

明治24年に起工した東京市水道では、第一期工事計画だけでも2万1000トン強というきわめて大量の鑄鉄管が使われることになった。当時、これだけのものを輸入すると、大金が海外に流出することになる。そこで輸入か国産かで激論が闘わされた。結果は国産育成派が勝ち、明治26年、東京月島に日本鑄鉄合資会社が創立された。著名な学者・技術者を集めて発足し、早速に東京市が計画する水道の鑄鉄管の全量を受注した。

ところが、いざ製作にかかってみると不良品が続出してなんとものならず、ついに破産してしまった。市側では多大な迷惑を蒙った末に、やむを得ず途中で輸入に切り替えざるを得なかった。

一方、明治25年に起工した大阪市水道では、殖産興業の見地から国産鑄鉄管を使用することに決め、大阪砲兵工廠に2万トンの鑄造を付託した。砲兵工廠には大砲などの生産設備もあったからである。

しかしながら鑄鉄管の生産は初めてのことであり、たまたま日清戦争勃発の影響もあって、思うように進まず、結局目標の半分を輸入に切り替えた。

その頃、大阪で「はかり」の部品を鑄造していた久保田権四郎氏がいた。氏は明治26年に独力で鑄鉄管の試作に取り組み、ようやく明治30年に3～4インチの直管の鑄造に成功している。これを契機として、当時澎湃として起こってきた各地の水道およびガス事業の需要に応えられるようになり、順次国産品が普及してきた。

明治42年には、大阪市が国産の48インチ大口徑管を採用している。

一方、明治42年には栗本勇之助氏が大阪に合資会社栗本鐵工所を設立し、鑄鉄管の製造を開始して今日の隆昌を築いている。

そのほかに明治30年頃から大正時代にかけて、日本の各地で鑄鉄管を手がけた会社が数多くあり、興亡変遷を激しく繰り返したが、ほとんど成功しなかった。その理由は、製品が薄肉である上に、水圧に耐えねばならないので、技術が未熟であれば、徒にオシャカ（不合格品）の山を築くことになり、少し調子が悪ければ数量が多いだけにたちまち赤字が累積することになるからであった。

写真6 大正博覧会（大正3年、東京・上野公園）で金賞を受けた久保田鐵工所製60インチ鑄鉄管



（茶話）お釈迦様でもご存じあるめえー

鑄物師は不合格品のことを「オシャカ」という。お釈迦様がなぜ不合格品の代名詞になるのか？不思議でならず、先輩諸氏に聞いても解せないままだった。ところが最近になって阿刀田高さんの書いたものの中にこんな話が載っているのを見た。

焼きものをするとき、火が強すぎるとうま

くない。失敗作を眺めながら職人は「火が強かった」と反省する。この「火が強かった」という呟きを江戸っ子が発音すると「四月八日だ」に聞こえる。

四月八日は、ご存じ花まつり、お釈迦様の誕生日。そこから駄目になったときには「オシャカ」になったというのだとか。

ご自分が不良品の代名詞になっているとお聞きになれば、お釈迦様はどんなお顔をなさることだろうか。

第3章 大正時代から昭和初期にかけての鑄鉄管

1. 上水協議会規格の制定

大正時代に入り、3年には第一次世界大戦が勃発したが、国内的には好景気が続き、上水道の建設も順次地方都市に及んだ。この傾向は昭和の初期も続き、鑄鉄管では一部海外まで輸出するに至った。ちなみに国内の給水人口の割合は、明治末に9.8%であったものが、大正15年には20.7%にまで倍増している。

大正3年（1914）10月には上水協議会によって初めて統一規格ともいべき「水道用鑄鉄管仕様書標準」が制定された。その主な内容は、口径3～42インチ、継手はソケット形とフランジ形の2種類、抗張力は18,000ポンド/平方インチ以上とされた。いわゆるインチ管規格である。明治当初、ヨーロッパからの輸入品はインチ管であった慣例にならったものであろう。

大正13年（1924）国の方針に従ってメートル法が採用され、口径75～1500mm、抗張力12.5kg/mm²と置き換えられ、いわゆるミリ管時代に入った。しかしすでに埋められているインチ管と新しいミリ管の接続には当分トラブルは避けられなかった。

（茶話）ウンブランの泉

しばしの余談を。

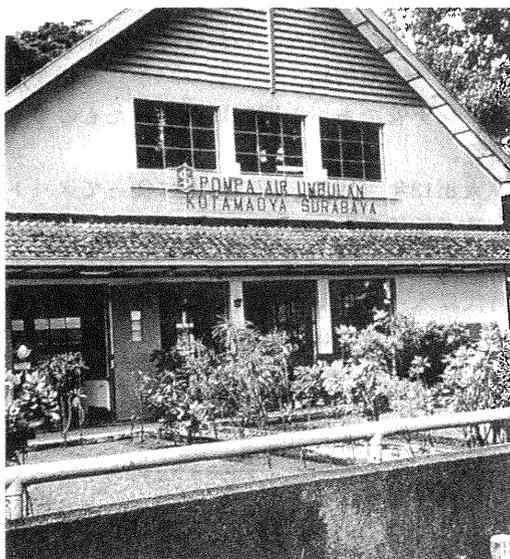
ジャワ島の東端に近く、スラバヤという市がある。当時人口200万人を超えるインドネシ

ア国第二の大都市である。ここからはプロモという標高2400mばかりの秀麗な姿の火山が望見できる。その山麓の懐深く、スラバヤ市から約70km、車で1時間半ほど入った所にウンブランという泉がある。泉といっても大変なもので、1日43万 m^3 もの清澄な水が湧き出るので、ちょっと想像し難いほどのものである。

湧水の一部は古くからスラバヤ市の水道水として利用されている。ところが近年人口膨張が続き、水需要が増大する一方なので、もう1本の導水管を緊急に新設しなければならない必要に迫られた。

私は昭和57年にその調査のためにこの泉を訪ねた。鬱蒼たる森の緑とカラフルな花々に抱かれた泉のほとりに佇めば、わが身はあたかも仙境にあるかのような不思議を覚えた。人のよさそうな番人の案内でポンプ室へと下り立って驚いた。黒光りしている配管には、なんと1931[㊤]400との鑄出しがきわめて鮮明である。昭和6年に鑄造された鑄鉄管！ 赤道を越えて遥か彼方の島の山奥に、50年間黙々と…。「ご苦労さんでした」。私は管をなでながら心の中で話しかけた。「まだまだ頑張る

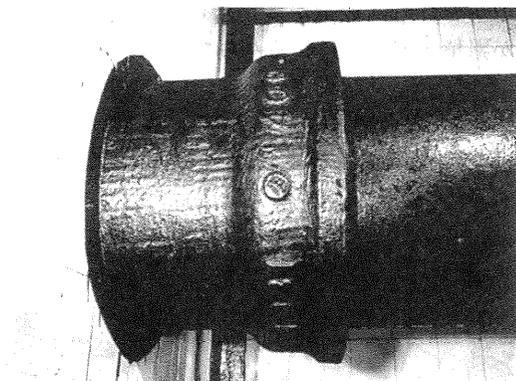
写真7 スラバヤ・ウンブランポンプ場



さ」との答えが返ってきたような、いいしれぬ感動に打たれたのであった。

ちなみにクボタでは、大正6年（1917）にインドネシアに2000トンをはじめ、その後数度にわたって鑄鉄管を輸出しており、また、オランダのロッテルダムなど欧州市場にも販路を拓けている。

写真8 今も働き続ける昭和6年製[㊤]
口径400mm鑄鉄管



2. 高級鑄鉄管の開発 高級鑄鉄管

世界に眼を転ずれば、第一次世界大戦（大正3～7年）末期、ドイツでは鋼製の砲弾が間に合わなくなってきた。これを急ぎ補充するために、大量生産できる鑄鉄に目をつけ、鑄鉄の強化研究に総力をあげた末、「強力鑄鉄」を開発して砲弾の製造に利用した。

このことがきっかけとなり、戦乱が収まったあとも世界列強は兵器の高度化、大型化を競うようになった。特に鑄鉄はあらゆる兵器や産業機械の基礎素材でもあったため、世界の冶金学界で鑄鉄の性能向上の研究熱が高まった。特にドイツ、イギリスそれに日本では著名な学者が成果を挙げ始めた。

日本の鑄鉄管の分野では、実はそれまでは脆いという短所があり、これをなんとか改善したいというのが、水道界あげての悲願であった。

そこで関係者の間では、世界の趨勢に遅れま

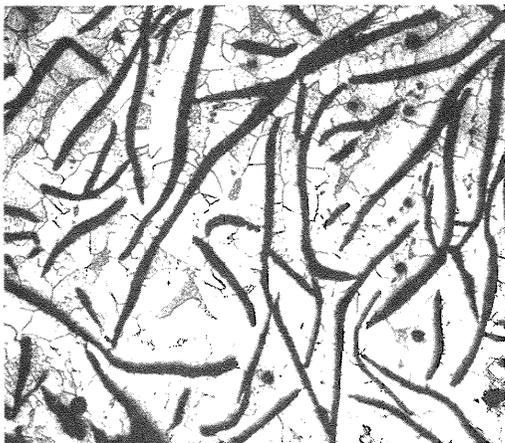
じと鑄鉄の強力化を大いに研究した。その結果ようやく昭和初年頃から成功をおさめつつあった。そして昭和5年には高級鑄鉄管を生み、8年には日本水道協会の「水道用高級鑄鉄管規格」として結実し、従来の管の脆さが改善され、内圧、外圧に対する安全性が向上された。具体的には、従来の上水協議会規格では鑄鉄管の抗張力は毎平方ミリ当たり12.5kgと決められていたものを一挙に25kgへと上げることができた。

みみずと菊の花

では高級鑄鉄管と従来の普通鑄鉄管ではどう違うのか、技術の中身はどうか。やや難しい話になるが、のちのダクタイル鉄管の秘訣にも関連してくるので、多少の説明を加えておきたい。

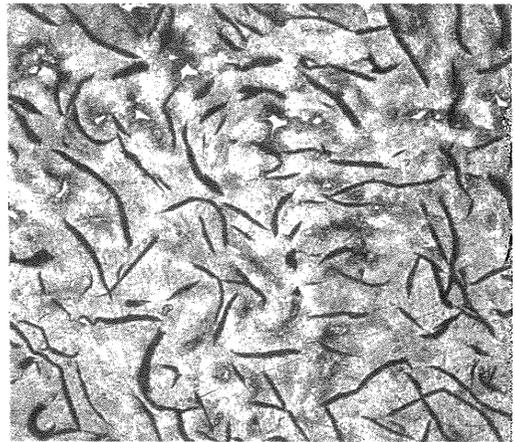
普通鑄鉄管は、キュポラで銑鉄単身を溶解していた。その場合、できた管の顕微鏡組織は写真9のようにになっている。

写真9 普通鑄鉄管の組織 (100倍)



白く見える基地（マトリックス）をフェライト組織という。その中にみみず状に黒く見えるのが黒鉛である。フェライトは元来、力が弱い。その上に黒鉛の形が大きく長い。黒鉛には強度はほとんどない。したがって全体的に力が

写真10 高級鑄鉄管の組織 (100倍)



弱いわけである。

一方、高級鑄鉄管の場合、写真10の通りである。灰色に見える基地はパーライト組織という。パーライトはフェライトよりも強力である。しかも黒鉛の量が少なく、かつ形も小さい。ちょうど菊の花弁を一枚一枚ばらまいたようである。

このように基地組織の違いと黒鉛の量および形と分散の仕方の違いが普通鑄鉄管と高級鑄鉄管の強度の差の原因をなしている。

このような高級鑄鉄管を造るためには、キュポラ溶解の配合に不純物の少ない厳選した鋼片を加えるのであるが、その量の加減、それを溶解するための温度を高める技術、型への鑄込温度を上げて湯流れをよくする手段、炉や鑄物砂の耐火度の改善など一連の緻密な研究を地道に積み重ねたのであった。

3. 遠心力鑄造の実用化

遠心力鑄造

静置した型に溶湯を流し込む鑄造法に対して、遠心力を利用した鑄造法によれば、引け巢もなく効率も上がるはずだとの思想はかなり早くからあった。事実クボタでは明治36年からそれを試みたという記録が残っている。

それによれば、まず中空円筒形の鑄型を造り、両端には把手を固定しておき、これを回転

軸受に乗せる。円筒の一ヵ所にあらかじめ孔をあけておき、そこから溶鉄を流し込み、粘土です早く孔をふさぐ。両端の把手にかけたハンドルを懸命に手で回す。もういいだろうと頃を見はからって中を開けて見ると、兎の糞みたいにモロモロになっていて、とてもパイプとはいえない。何回やっても駄目だった。

また、旋盤に型を取りつけて、回転させながら注湯する方法も試みたが、うまくいかなかったとか。

今から言えば、実に幼稚というか滑稽かも知れないが、当時とすれば危険を伴う真剣な試みであり、まさに可能性を追求するの一念であったのであろう。

かくて先人の夢は、昭和10年(1935)に現実のものとなって工業化をみるに至った。すなわち昭和7年「満州国」が誕生、国策に協力して昭和10年(1935)満州久保田鑄鉄管株式会社が鞍山に建設され、ここで日本最初の砂型遠心力鑄造が始まった。そして最盛期には1200人をもって月6000トンの生産を行っている。終戦後は中国に接収され、同国最大の鑄鉄管生産の拠点として、いまだにそのまま生産が続けられていると聞く。

ついで昭和15年にクボタの武庫川工場において、砂型遠心力法で口径300~900mm管が、同じく昭和25年に金型遠心力法で口径75~250mm管が生産開始されている。

遠心力鑄造法の特長は、管の組織が緻密で鑄巣がないこと、管長6mの長尺ものが鑄造できることである。(今では9m管まで可能)。さらにもうひとつの大きな利点は品質管理が徹底できることにある。

(茶話) 日中技術交流

昭和53年(1978)10月、中国土木工程学会の招聘により、日本水道協会名誉会員小林重一先生を団長に、日本下水道協会専務理事寺島重雄先生を副団長に、計8名の訪中団が17日間にわたり北京、西安、南京、上海を回り、技術交流を行った。詳細は日中経済協会から

報告書が出ているので、ここでは省略する。時あたかも鄧小平副首相が日中平和友好条約批准書交換のため来日された前後であり、中国でも友好的な雰囲気のみならず、その上、時候もベストシーズンであったこともあって万事めぐまれた旅であった。

当時中国では国を挙げて4つの近代化に取り組んでいた。農業、工業、国防、科学技術である。交流会を通じて感じた限りでは、自力更生を貫く精神と新技術を吸収しようとする強烈的な意欲がひしひしと迫ってくるような印象に打たれた。

さて鑄鉄管に関連する一部にちょっと触れてみよう。水道管の主流はやはり鑄鉄管であったが、どこも普通の印ろう形鑄鉄管であり、ダクトイル鉄管はまだなかった。鑄鉄管の製造工場は北京、上海にもあるが、主力は鞍山工場であるとのこと。(終戦時に満州久保田鑄鉄管(株)を接収したもので、その後もそのまま稼働させている)。上海鑄鉄管工場では水冷銅鑄型による立型半連続鑄造方式で小管を製造していた。ソ連から持ってきた技術らしいが、まだまだ問題ありとのこと。ただ感心したのは取瓶の扱いから鑄造機の運転まで女性がやっていたことで、当時の日本ではまずないことだろうと思った。中国では男女を問わず同一労働同一賃金で、働ける者はすべて働くのが原則だから当然のことなのだろう。

もうひとつ。西安(昔の長安)で、あまりの懐かしさに胸が熱くなる思いをしたことだった。それは技術交流会が終わった直後、私とほぼ同年輩と思われる一人の技師が近寄り、「高級鑄鉄管規格、昭和8年印刷、久保田鉄工所」なる古びた藁半紙刷りの規格書を取り出され、「その後も変わっていないか」と質問されたことだった。パラパラとめくって見ると、旧漢字と片仮名文字とむずかしい文章の、まぎれもない鞍山当初の規格書であった。

第4章 太平洋戦争前後の鑄鉄管

1. 戦前戦中の苦難時代

昭和12年日中戦争勃発、13年には国家総動員法が公布され、生産活動に必要な原料、資材、人もすべて軍需優先となった。あげくの果てに16年には太平洋戦争に突入。

昭和12年の鑄鉄管の全国生産量は14万トンであったが、16年には8万トンに減少、しかもそのほとんどが軍用水道向けで、民需は極端に圧迫されるに至った。当時の事情を物語る一例を話してみよう。

鑄鉄管用銑鉄を確保したいと考えた久保田氏は、尼崎製鋼所と共同で350トン高炉を有する本格的な製鉄所を建設、ようやく16年6月に竣工を見たが、すでに戦時統制下にあり、その銑鉄はついに隣接の武庫川鉄管工場へ一片も運ばれることなく終わってしまったのであった。

かくて20年8月、日本は破局に至り、筆舌につくし難い戦後の数年を迎えることになった。

2. 戦後の混乱と復興の時代

戦争による荒廃は惨状を極めた。都市の水道施設をとってみても、爆弾による施設の破壊、焼夷弾による家もろとも給水装置の焼失のため、漏水率は70%を越える有様、鑄鉄管の工場も多くは全焼あるいは破壊のため生産は不能に陥った。

昭和25年に朝鮮戦争が勃発、その特需を契機としてようやく経済が立ち直り始めた。そんな中で鑄鉄管は何をしたか。破壊された工場を修復しつつ、あらゆる困難と闘いながら原料、資材、人の確保に奔走する一方、四散してしまった鉛コーキングの継手熟練者不足を補い、かつ水密性を高めるためのメカニカル継手の開発、あるいは維持管理を容易にするためのセメントモルタルライニングの実用化などに努めた。なお、埼玉県でピストン関連品を製造していた東洋精機（株）が昭和24年に鑄鉄管の製造を始め、現在の日本鑄鉄管（株）に至っている。

第5章 ダクタイル鉄管時代の幕明け

1. 米国における球状黒鉛鑄鉄の発明

GHQ

ゼネラル・ヘッド・クォーター。年輩の方々は忘れもすまい、あのマッカーサー元帥の最高司令部のことである。

昭和20年8月30日、黒いサングラスにパイプをくわえて丸腰で厚木飛行場に降り立った彼の姿写真は、脳裏に焼きついたままで、消そうにも消しようがない。

以後、皇居前の第一生命ビルに本拠を構え、占領下の日本の政治、経済、教育その他一切を支配したのが、このGHQであった。

一方の日本はといえば、多くの人々が喰うに食なく、住むに家なく、働くに職なく、希望もなく、流言蜚語こそあったが諸外国の情報はずたづたなく、ただただ右往左往してさまよったのであった。

そんな中で、GHQの管理下にCIE図書館というのがあった。CIEとは、Civil Information & Education Section（民間情報教育局）のことで、その図書館は情報飢餓の中にあって、アメリカ社会を伺い得る唯一の窓口なのであった。

1冊の技術誌が呼んだ春の嵐

昭和24年の春、CIE図書館の書棚に1冊の技術雑誌が現われた。

“IRON AGE” 1949年2月号である。世界最大のニッケル生産会社インターナショナル・ニッケル・カンパニー（INCO）のミルス氏他2名が発表した論文が載っていた。これぞダクタイル鑄鉄（DCI）発明の衝撃的な発表であった。

実はその前年の1948年（昭和23年）5月のAFS（アメリカ鑄物協会）大会において公表されたものであるが、9ヵ月後にペーパーに載って日本にやってきたのであった。

この論文を見た日本国中の鑄鉄に関係する学者、研究者、企業の間に関係する

ンが巻き起こったのであった。その論文は簡潔なものであった。要約すると、論文の前半は「鼠鑄鉄の溶湯にマグネシウムまたはその合金を適量加えて、鑄鉄中に残留するマグネシウムの含有量を0.04%以上とすれば、鑄鉄中の黒鉛が球状化した」というのである。

“菊の花” から “ボール” へ

そもそも鑄鉄中の黒鉛とはどこからきて、どんな役目を持っているのだろうか。ひと口に鑄鉄といっても、鉄100%でなく、種々の不純物、たとえば炭素、シリコン、マンガ、リン、硫黄、その他を含有することは先にも述べた通りで、特に炭素は鋼と鑄鉄の区別をつける主人公であることも話した。

同じ鑄鉄においても、炭素は、その量が多くなればなるほど、鑄鉄の溶融温度が低くなり、つまり湯流れがよくなり鑄造しやすくなるという大切な役目を果たしている。

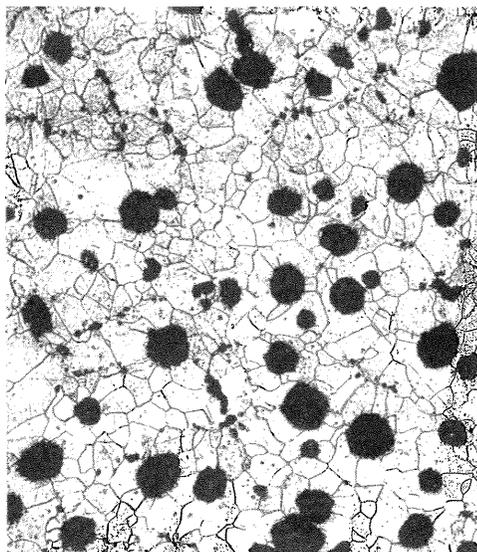
そしてこの炭素は、最終的には鉄との化合物としてではなくて、大部分が黒鉛結晶として析出してくる。

では、ミルス氏らの発明、つまり黒鉛がボール状になったということが、なぜそんなに嵐のようなセンセーションを巻き起こすのか、その意義はどういうことなのかということになる。

すでに「高級鑄鉄管の開発」の項で述べたように、黒鉛の形がみみず状よりは菊の花弁状の方が鑄鉄の強度は強くなった。それをさらに追究するなら、球状つまりボールのようにするのが窮極であろう。なぜならば、同じ黒鉛量でも板状や片状よりは球状の方が表面積は最小になるからである。言い換えると、黒鉛の球状化ということは学者・技術者の長年の夢であり、理想であったのである。それが突如としてミルス氏らによって現実のものとなったので大騒ぎになったわけである。

写真11に球状黒鉛鑄鉄の顕微鏡写真の一例を示した。前に掲げた普通鑄鉄あるいは高級鑄鉄のそれとお比べいただきたい。

写真11 球状黒鉛鑄鉄の顕微鏡組織 (100倍)



かくて、IRON AGE誌の論文の後半は次のように続く。「このようにして出来た球状黒鉛を有する鑄鉄は、鑄放しで毎平方ミリ当たり40キログラム以上の抗張力と3%以上の伸びを有している。よってこれを“ダクタイル鑄鉄Ductile Cast Iron”(略してDCI)と命名した」と。ダクタイルとは、延性のある、強靱なという意味の形容詞である。

発明の動機

では次なる興味は、当然DCI発明の動機はなんであったのかということになる。昭和43年秋10月、DCIライセンス国際会議が京都洛北宝ヶ池の国際会議場で開催された。発明者のミルス氏も初来日し、世界各国から集まった学者、研究者、経営者らから尊敬と感銘をもって迎えられた。会議は盛大で、かつきわめて友好裡に大成功を収めた。

さて、会議終了後の一日、(株)クボタはミルス氏を武庫川工場に招き懇談する機会があった。その折、若い技術者達を前にして氏の語った話の大要は次のようであった。

「アメリカでも第二次大戦中に重要基礎資源であるクロムが不足した。当時INCOはニハ

ードと称する4.5%Ni-1.5%Cr合金鑄鉄を生産していたが、そのCr(クロム)も潤沢に使えないことになりかねないとのことから、その代替品を考えなければならないことになった。そこで、大学を出て3年目の若い冶金技術者であるミルス氏に特命された。氏はニハードのクロムに代えて、ジルコン、セリウム、ビスマス、銅、テルル、マグネシウムなどを試みる実験計画を上司に提出したが、「マグネシウムは危険だから駄目」とはねつけられたが屈せず、ついに彼の熱意に負けて「お前にまかせる」ということになった。実験は進み、ある日マグネシウムを使ったところ、爆発的な反応を起こした。飛び散った鉄の一部をひろい上げ、顕微鏡で組織を調査しているうちに黒鉛が球状化しているのを発見した」というわけであった。

思うに研究の過程においては、ちょっとした事象をついそのまま見逃してしまったり、あるいは気がついたにしても特異現象、例外的事象として顧みない例が多いものである。それを徹底的に追究したところに思いがけない大発見の機会がひそんでいたわけであり、氏の偉大さの所以もこの点にあったわけである。

(茶話)ダクタイル鑄鉄と私の出会い

昭和24年前後、私は京都大学の大学院で金属の流動性、つまり溶融状態になったときの湯流れ(鑄造性)の研究を行っていた。毎日、鉄やアルミニウムを溶解し、その成分や溶解温度を変えて、別に考案した測定器に鑄込んで、その流動性を定量的に測定することを行っていた。例のIRON AGE誌を見たのはその頃であった。早速試してみようということになった。マグネシウムの比重は1.74で鉄の7.2に比べると遥かに軽く混合させにくい。さらにマグネシウムの溶融温度は約650℃、沸騰温度は1100℃で、いずれも鉄の溶融温度よりも遥かに低い。その上、非常に発火しやすい。これはご存知のように、ひと昔前までは写真を撮るときにポッとマグネシウムの粉を

発火させていた通り。つまり爆発する。その危険は十分解っているのだから、それなりの対策を考え、溶鉄の上にマグネシウム片を添加する瞬間に、るつぼの上から蓋をするようにして実施したが、想像以上の爆発反応が起こり、溶鉄はすべて飛び散り、サンプルをとることすらできないで、手足のやけどだけが残った次第であった。

その後、少しずつ工夫しながら試行錯誤しているうちに、ようやく丸くなった黒鉛にお目にかかることができるようになった。懐かしい思い出である。

2. 鑄鉄管ダクタイル化への挑戦

ダクタイル化への挑戦

昭和24年といえば戦後の復興もようやく軌道に乗り、世情も明るさを取り戻しつつあった。美空ひばりが少女スターとしてデビュー、古橋広之進が「フジヤマのトビウオ」と活躍、湯川博士がノーベル賞を受けたのもこの年のこと。人々は「青い山脈」を口づさむまでになった。

一方では大戦の傷跡まだまだ深く、水道の世界では戦争で傷んだ管の折損も多く、昭和24年当時なお、戦災都市での漏水率は30~40%に及んでいた。それに反して人口は都市へ都市へと流入が止まらず、水需要は増大の一途を辿った。全国的に水道の拡張計画が持ち上がってきた時期でもあった。

時あたかもアメリカからDCI発明のニュースが伝わり、これこそ天恵、従来の鑄鉄管に代わって、強靱なパイプの製造に利用できないかと直感的に閃いた人がいた。(株)クボタの副社長田中勘七氏もその一人であった。氏は早速鑄鉄管部門に対し、ダクタイル管の試作を指示した。そして手さぐりのまま堅吹法、砂型遠心力法、金型遠心力法などあらゆる方法で試作が始まった。

昭和26年9月9日、サンフランシスコで日米の平和条約が締結された。間もなく和平回復後の定期飛行便の第一便が羽田を飛び立ったのであったが、田中氏はすでにその機上にい

たのである。そしてINCO本社を訪問し、DCIをパイプに利用することの可否を研究者たちと議論し、確信を得て、早速特許の交渉を始めている。

このとき、すでにダクティル管の開発に社運をかける決断で臨んでいたのであった。

ダクティル鉄 (DCI) の特許

INCOはいち早く全世界の主要国に特許を申請していた。日本で特許が成立したのは昭和26年である。

これを許諾するについては厳しい条件を加え、たとえばある一定以上の試験設備を現有していること、また、ある一定数以上の専任研究者が在籍していることなどをいちいちINCOの代理人が現場調査のうえ、厳選するほどの慎重さであった。

こうして昭和27年の末頃から28年にかけて7社が供与された。それはクボタ、東芝、トヨタ自動車、日立製作所、新三菱重工、豊田自動織機および三菱造船であった。その後、時間をかけて逐次追加されている。

乗り越えねばならなかった難関の数々

先般ある親しい人から率直な指摘をいただいた。「ダクティル鉄管はアメリカから特許を買ってきたのだから、なにも苦労なんかなかったのじゃない?」と。

それを聞いて私は「ハッ」と気付いた。これは我々が迂闊だった。説明が足りなかった。PRが足りなかったなど反省させられたのだった。

確かに製品特許であればすでにでき上がった製品があり、その作り方、扱い方のノウハウがついており、その通りやっておれば間違いのない、勝手なことすれば却って特許に反するというのが一般通念であろう。

ところがINCOのDCI特許は、あくまで基本特許であり、極端ないい方をすれば、黒鉛が球状化した鑄鉄の顕微鏡組織そのものが特許であり、特定の製品、つまり管であろうと、機械鑄物であろうと、自動車部品であろうとなんでもよい、どんな作り方でもよい、兎に角マグネ

シウムまたはその合金を使ってDCI「黒鉛が球状化した鑄鉄」を作れば特許にかかりますよ、ということである。

裏返せば、特定の製品をつくるノウハウは一切ついていない特許である。したがって作る側で一つ一つ暗中模索、試行錯誤、理論究明をしてかからねばならなかった。すべてがまさに未知との遭遇にほかならなかった。さればこそ幾多の危険もおかし、言い知れぬ苦難をも乗り越えねばならなかったわけである。

(1) 添加合金の選択

INCOはNi-Mg (ニッケル20%-マグネシウム50%) を使ったようであるが、当時ニッケルはトン当たり数百万円もする金属で、とてもやすやすと使えるものではない。鉄-シリコン-マグネシウム合金も考案されたが、やはり危険も伴うが純マグネシウムがもっとも経済的という結論になった。

(2) 原料鉄の厳選

原料鉄については処女性ということが問題になり、できるだけ不純物の少ない鉄鉄を使わないとなかなか黒鉛が球状化しない。だから当初などはスウェーデン木炭鉄を使って実験をしていた。しかし工業生産となると価格、量ともに不適合である。結局、有害な不純物の限界を規定した特別な“ダクティル鉄”なるものを高炉メーカーに作ってもらって、専らこれを使用した。もちろん普通鉄よりは高価である。

(3) 黒鉛の球状化を阻害する元素

それは何と何かを特定することが、また大変な根気のいる研究作業であった。

一番の悪者は硫黄である。普通の鉄鉄中には0.08~0.1%含有されている。これを脱硫工程といって、一般には窒素ガスでカーバイド粉を溶湯中に吹き込み硫化窒素の形で分離除去して、少なくとも0.005%以下にはしておかねばならない。

そのほかに悪戯をする元素は、アルミニウム、チタン、鉛、砒素、アンチモン、ビスマス、ジルコン、テルル、錫等々数多いが、い

ずれも0.00数%以下に抑えた原料を使わねばならないことが次第にわかってきた。

(4) マグネシウム (Mg) の添加方法

さて合金を使えば反応が穏やかで、确实、安全であることはわかっているが、経済性からいえば純Mgが良いことまでは先述の通りわかったが、なにしろ危険な金属なので安易に扱うわけにはゆかない。Mgの融点は650℃、気化温度は1100℃、比重は1.74。しかも、昔からおなじみの写真のフラッシュに使われていたことからわかるように、きわめて発火しやすい金属である。一方の湯（溶けた鉄のこと、溶湯ともいう）の温度は、低くても1450℃はある。したがってMgを溶湯の上に不用意に投げ込んだりすると爆発的な反応で危険極まりない。そこでいくつかの方法が試みられた。

取瓶の底にポケットを設けてMg塊を敷き、上から湯を注ぐ方法、黒鉛製または鉄板製の孔あき籠にMgを詰め込み、棒の先に取り付け、取瓶蓋の真中に設けた孔にさし込んでおき、取瓶に湯が溜められた時点で蓋をして棒を湯の底まで押し込む方法など各種の工夫が試みられた。

それぞれ一長一短あるが、鉄管のように大量連続生産するのに適した方法として圧力添加法というのが考案されて実用されている。高圧下では物質の蒸発気化温度が上昇するという一般物理現象を利用したもので、取瓶を高圧容器にしておき、溶湯が溜められた時点で窒素ガスを封入、Mgの気化温度を溶湯の温度近くになるように雰囲気圧力を調節してやるのである。そのうえでピストンの先に取り付けておいたMgの塊を湯の中に押し込んでやれば、密閉容器内で反応は静かに進むという仕掛けである。

(5) 以上のほかにもまだまだ解決しなければならなかった問題は多くあったが、それら要素技術とその組み合わせを一つ一つ綿密に、ちようど乱麻をときほぐすようにして解決していったのである。その間には危険も伴い、失敗もあり、事故も起こし、神経をすりへらすような長い苦しい道のりであった。

砂型遠心力鑄造の挫折

前述の各要素技術の追及と併行して、絶えず各種の方法でのダクタイル鉄管鑄造が試みられた。まず砂型遠心力鑄造である。なぜならば、この方法は昭和10年、満州久保田鑄鉄管（株）で初めて採用されて以来、FC管鑄造の長い歴史と伝統ある技術であるからである。ところが結果は完全な失敗に終わった。

この方法では金棒の内面に30～50mmもの鑄物砂を内張りし、回転させておいて一端から鑄込む。注がれた溶湯は、型に接した面、すなわち管の外側からゆっくり凝固し始め、順次内面の方に向かって固まっていく。したがって全体が固まるまでには相当の時間がかかる。

一方マグネシウム処理した溶湯は酸化しやすく、かつ固まるまでの時間が長いとマグネシウムが蒸発して消えるので、効果がなくなる性質がある。案の定、でき上がった管の内面側は黒鉛の球状化が不十分であり、かつ酸化のために皺が生じて、とてもりっぱな管とはいえなかった。

3. ダクタイル鉄管の誕生

豎型ダクタイル鉄管の成功

ここで、まったく転換した発想の遠心力管を新たに開発することになった。だが、一朝一夕には無理な話で、相当の時間を覚悟しなければならない。

ところが水道を取り巻く環境情勢は急を要しており、とても悠長なことはいっておれない。

そこでもうひとつの鑄造法として豎型（豎吹きともいう）鑄造法があった。これこそ昔からFC管でやってきた安定した方法であり、すでにダクタイルでの試作で昭和28年頃までに一応の成功をおさめていた。ただ欠点としては肉厚が厚く、重量が重い。管長も4mが限度で、遠心力管のように6mものは困難である。しかし強度は十分ある。なぜなら豎型鑄造法では外型と中子の隙間に溶湯を鑄込むので、凝固は管の内面側からと外面側からとが同時に始まって速く進行するので、マグネシウムの酸化あるいは蒸発消失もないからである。

会社としては、新規の遠心力鋳造法の開発は武庫川工場で、一方の縦型鋳造の完成は尼崎工場でそれぞれ担当するという両面作戦を展開していたのであった。

(茶話) 消防車

尼崎工場で1350mm管を初めて鋳造したときのことである。朝から手順の打ち合わせや段取りにかかり、鋳込みが夕刻になった。前工程が脱硫作業であるが、カーバイド粉を窒素ガスで数分間にわたって吹き込むので、反応生成物の黒煙が高い建屋の天井から吹き上げる。続いてマグネシウム処理の工程である。反応が激しく、物凄い閃光がパッパッと天窓のガラスを真赤に染める。たまたま尼崎消防署員が望楼の上から望んでおり、「クボタが火事や！」というので数台の消防車がサイレンを鳴らしながら工場の中へ飛び込んできた。「火事はどっちだ！」と消防士。「えー、火事？どこの？」と門衛。騒ぎのあと「そんなことするんなら、事前に連絡せんかいな」と叱られ、「えらいすんまへん」と平謝りの一幕であった。

阪神水道企業団の勇気ある決断

その頃、阪神上水道市町村組合（のちの阪神水道企業団）では、第二期淀川導水路計画が具体化、そのうち尼崎浄水場から甲東ポンプ場への約6.6km強、そこから甲山浄水場までの2.8kmの区間は高圧となり、従来の鋳鉄管では耐え得ないと判断され、たまたま完成したばかりの縦型ダクタイル鉄管に着目された。

若い技術者を毎日のように工場に派遣され、抜き取った試作品を切り刻んでは機械強度試験、残留応力の有無、継手の水密試験など、考えられるあらゆる面から綿密かつ徹底的な調査・試験を実施された結果、口径1350mm管を4.1km分、口径1200mm管を1km分それぞれ初採用、昭和29年春から工事が開始された。

これが歴史を飾る日本におけるダクタイル鉄管の第1号であり、しかも世界における最初

の大口径ダクタイル鉄管であった。

思えば、初めての新しい製品を、初めて採用されるということはきわめて重い責任であったはずであり、当時の阪神水道企業団の優れた先見性と勇気ある決断に、深い敬意と感謝をささげたい。

写真12 阪神水道企業団へ口径1350mm
ダクタイル鉄管を運ぶトラックの列



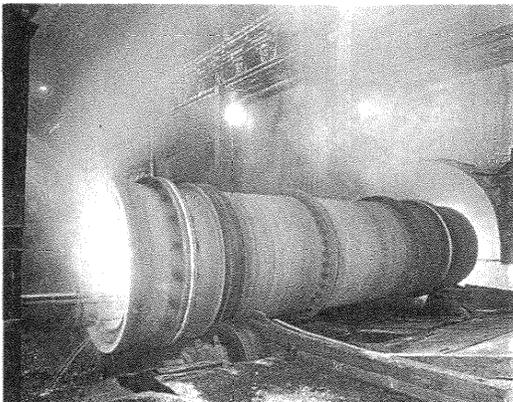
サンドレジン型遠心力鋳造ダクタイル鉄管の成功

先に砂型による遠心力鋳造が失敗したことを述べたが、それからすぐに新技術開発に取り組んだ。戦後、珪砂にフェノール樹脂を混合して造型する方法が実用化されつつあった。フェノール樹脂は熱硬化性といって、熱を加えるとある温度で軟化し、のちに硬化する性質がある。この特性を利用して、予熱した金枠の内面に1~2mmほどの薄いコーティングを施し、これを用いてダクタイル鉄管を遠心力鋳造することを考えた。これをサンドレジン遠心力鋳造法と呼ぶことにした。従来の砂型遠心力鋳造法に比べ、砂の層が極端に

薄いため、鑄込んだときの溶湯の冷却が遥かに早い。したがって酸化物の生成がなく、管内面に皺ができる暇も与えない。ところが一方では、鑄造の常識として、急冷すれば硬くて脆い組織（セメントタイト、 Fe_3C ）になってしまうので、鑄造後に焼鈍（ナマシ）をしてやらねばならない。

つまり950～1000℃で40～60分ばかり加熱して熱処理をするわけである。こうすればセメントタイトは熱分解して組織が変わり、強靱な鉄基地（Fe、フェライト）と球状黒鉛（C）になる。つまりダクタイル鑄鉄管ができるわけである。焼鈍は1本1本やっているわけにはいかないで、長さ50～60mの連続炉を築き、加熱、保温、冷却の各ゾーンを管が回転しながら連続的に動いていく仕組みになっている。温度管理に細心の注意が必要であることは論をまたない。こうしてサンドレジン・ダクタイル鑄鉄管の鑄造に成功したわけであるが、振り返って見れば、ダクタイル鑄鉄とはなんとむずかしい製品なのか。ここへくるまでに7年の歳月を要したことになる。

写真13 サンドレジン遠心力鑄造



桂沢水道企業団の英断

昭和31年、これまで積み上げてきた全ノウハウを注ぎ込んで、新しい生産ラインを建設することに取りかかった。

時あたかも、桂沢水道企業団（当時の桂沢上水道組合）の創設水道建設に当たり、この

サンドレジン・遠心力ダクタイル鉄管採用の話が固まり、昭和31年12月、桂沢ダム取水点から浄水場までの700mm導水管、延長約4km分、続いて昭和32年7月には浄水場から唐松分水に至る700mm送水管約5.7km分の発注があった。一方クボタでは遠心力ダクタイル鉄管工場の建設はもちろん初めてのことであり、やや難渋し、やっと製品が出荷できるようになったのは、昭和32年の夏の頃であった。北海道では冬には早く雪が降って工事ができなくなる恐れがある。一方、年内通水は至上命令であった。お役所はじめ関係者の必死の努力で、全管の埋設が終わり、通水したのがなんと雪の中、御用納めの日のことであった。

これが遠心力ダクタイル管路の第1号となった。

世上初めての新製品を採用された桂沢水道企業団のご英断こそが、遠心力ダクタイル鉄管誕生とその後の研鑽の記念すべき原点となった。

ダクタイル鉄管の日本水道協会規格制定

昭和34年、第28回総会においてダクタイル鉄管の規格化が決議され、昭和35年5月に第1回専門委員会が開催された。

当時、国富日本水道協会理事長のもと、委員長は東大名誉教授三島徳七先生、副委員長は東京都の藤田博愛先生、学識経験者として、京大教授森田志郎先生と鑄物協会会長田中勘七先生であった。委員は竹中正顕氏（横浜市）、海老原三好氏（神奈川県）、渡辺清則氏（名古屋市）、芦田秀夫氏（京都市）、太野垣俊彦氏（大阪市）、多田彰氏（大阪府）、松下保男氏（神戸市）、曾原良宗氏（阪神水道）、河井貞一氏（クボタ）、武藤千秋氏（栗本）であった。日本水道協会は大西技術部長、石田規格課長および富谷技師が担当された。いうまでもなく三島博士はMK磁石の発明者として世界的に著名な鉄鋼冶金の泰斗、森田博士は鑄造学の大家であり、私の恩師でもある。田中博士は（株）クボタの元副社長で、高級鑄鉄管や遠心力鑄造の開発者として水道界になじみの深い人で、のちに田

中・河井両氏の名で、「ダクタイル鑄鉄管製造法の研究開発」の功で大河内記念賞を受賞されている。委員および事務局の諸先生方は、今さら紹介申し上げるまでもない錚々たる大先達ばかりであった。

この委員会は当時の時代背景もあって、希望に溢れた白熱の論議がかわされ、翌年4月までの1年間に7回開催され、提出審議された資料数は実に90件に及び、その間に製造工場の調査や管理設実験現場での調査などもあり、きわめてエネルギッシュなものとなった。

審議内容の詳細は割愛するが、昭和36年にJWSA G105（直管）およびG106（異形管）として公布された。口径は200～1500mm、継手の種類はA、BおよびCの3形式となっている。

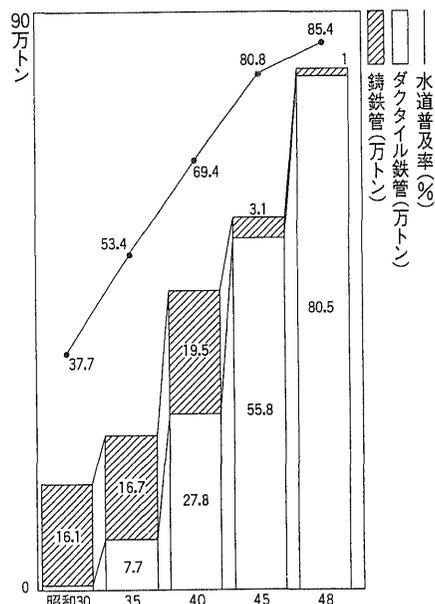
なお、昭和40年の改正で口径75、100、150mmが追加された。

その後昭和49年にはJIS G5526（直管）およびG5527（異形管）となった。

（参考）

昭和30年度～48年度の間の日本の水道普及率ならびに鑄鉄管からダクタイル鉄管への移行傾向を下の図に示した。

日本における水道普及率ならびに
鑄鉄管・ダクタイル鉄管の生産量推移



第6章 私の深く尊敬する2人の恩師

1. ダクタイル鑄鉄発明者ミルスさん

球状黒鉛鑄鉄の発明者であるK.D.MILLIS氏は1915年にNEW YORK州RENSSELAERに生まれ、1936年にその地の工業大学を卒業、続いて1938年に工学修士号を得て、1939年INTERNATIONAL NICKEL Co. (INCO) に入社、冶金技術者としてBAYONNE研究所に配属された。

球状黒鉛鑄鉄の発明は1943年、この研究所においてであった。そして1948年にはダクタイル鑄鉄 (DCI) として全世界に発表されるに至った。

ダクタイル鑄鉄発明の経緯についてはすでに述べたので重複をさける。

さて、1968年（昭和43年）秋10月、DCIライセンス国際会議が京都で開かれ、氏は初めて来日した。

写真14 嵯峨野を散策されるミルス氏



会議は盛大で、大成功を収めた。会議が終わった翌日の夜、世話役の数名が誰言うもなくミルス氏の宿、京都ホテルに集まった。そしてホテルのトップにあるバーのテーブルで氏を囲んだ。澄み切った東山の夜空には、見事な三日月

が輝いていた。氏はオリーブの実を沈めたマティーニの盃をあげ、「乾杯！」といった。しばし歓談のあと、席を祇園の二段屋に移して「しゃぶしゃぶ」を楽しみながら夜の更けるのも忘れるばかりであった。

その後も氏は数回来日している。

私どもも渡米したとき、ウォール街の事務所を訪れ、ニュージャージー州のINCO研究所を案内してもらったこともあった。

ミルス氏は非常に魅力的な人である。容姿端麗、控えめで、いつも笑みをもって静かに語る。私欲がなく、清らかな人柄である。そのうえに日本が好きで、日本に来れば心が和むという。あるとき、私と妻と娘の3人で京都見物の案内をしたことがあった。三十三間堂では彫しい仏像を一体一体丹念に見て回り、案内の僧に質問を連発される。また、金閣寺の庭園では“賢者の椅子”に座って茶目っ気をつまき、周囲の観光客を笑わせたりもした。嵐山では例のしゃぶしゃぶを食べながら、家族のことなどを時を忘れて語り合ったこともある。夕暮れの洛北の風景もお気に入りだった。

最後に来日されたとき、（今やそうなってしまったのだが）日本を去るに当たってなにかお土産をさし上げたいといったら、ご自身で有田焼の壺を選ばれた。後日私の娘が結婚したとき、すばらしいLENOXの器をアメリカから、わざわざお祝いにと贈っていただいたりした。

時には厳しい面もあらわにされる。たとえばクリスチャンでもない日本人から清水寺をバックにしたゲイシャガールなどのけばけばしいクリスマスカードをもらうが、あれはどうだろうかと不快そうな顔をされる。

そうした氏も病魔には勝てなかったようだ。実は亡くなる26年前に片肺の40%を切除、さらに11年前にはもう一方の片肺の手術をされた。それでも元気に仕事をされていたが、1990年からは酸素ボンベを使うようになり、1992年正月の便りでは、仕事ができなくなったとあって来られた。私の方からは「頑

張って下さい。夏には休暇をとって、激励にまいります」との手紙を差し上げておいた。

約束の夏がきた。渡米の少し前、あれは熊本での日本水道協会九州地方支部総会のときだった。当時の菊地専務理事さんとお話しているうちに、ひよんなことからミルス氏の話になり、実は近くお見舞いに行くつもりだと申し上げたところ、菊地さんから「それはお前のところだけの話ではないじゃないか、日本の水道の恩人でもあるぞ」ということになり、一幅の端麗な姿の鶴の絵の額をお見舞いにと預かって、アメリカへと飛び発った。

7月15日、ニューヨーク空港に降り立った私と妻は、ミルス氏が数日前に亡くなられたと知らされた。誠に残念。しばし天を仰ぐほかなかった。日本を発つ直前に受け取った6月26日付の「待ち望んでいるよ」とのいつもながらのしっかりした自筆の手紙を私は握りしめた。余りにも急だったことが悔やまれた。

翌日、ニュージャージー州スコッチプレンの森の中に、閑静な氏のお宅へ伺ったら、ご子息が次のように話してくれた。「父はすでに覚悟していたらしく、苦しむこともなく、静かに逝きました。若い頃の厳しい研究活動とヘビースモーキングのため肺がボロボロに傷んでいました。最近庭のプールにボートを浮かべ、日光を浴びながら好きな野球のラジオを聞くのが楽しみでした。生前、なにが一番ほしいかと聞けば“新しい肺”と答えました」と。

私たちは故ミルス氏の書斎に案内された。正面テーブルの上には七宝焼の大壺が置かれていた。それはまさしく、1968年京都国際会議場の庭園におけるパーティの開幕に当たって、日本DCI協議会（現日本ダクタイル鑄鉄協会）からのプレゼントとして当時代表だった田中勘七氏（株）クボタ副社長）からミルス氏に手渡されたものであった。そして氏が常用された椅子の背後の本棚の片隅には思い出の有田焼の壺も見えた。私はミルスさんの高邁な人格とりっぱな業績を深く慕って、忘れることができない。

2. ライフライン耐震工学の泰斗

久保慶三郎先生

勲二等瑞宝章東京大学名誉教授、故久保慶三郎先生は、土木学会の耐震工学委員長、第74代土木学会長、(財)耐震予防協会理事長その他内外の各種要職を歴任、昭和55年には米国機械学会創立100周年記念賞、平成5年には土木学会功績賞など幾多受賞され、その業績は内外にわたり輝かしいものである。もちろん水道、ガス関係でも各種委員長などとしてずい分とご尽力いただいたお方である。

私が先生にお世話になったのは昭和51年度建設省建設技術研究補助金により「地中施設の耐震継手に関する研究」が実施され、(財)国土開発技術研究センターに地下埋設管路耐震継手技術委員会が設けられ、その委員長に就任をお願いするため、東大生産技術研究所へお訪ねして以来のことであった。

その研究成果は「地下埋設管路耐震継手技術基準」((財)国土開発技術センター、昭和52年3月)として刊行されている。また、数量化理論による老朽管路の診断手法についてもご指導いただいた。これも現在活用されている。

昭和52年夏、UCLAにおいてアメリカ土木学会のLIFELINE EARTHQUAKE ENGINEERING学会があり、久保先生が講演されることになった。私も個人の資格で参加した。先生はデンバーで開かれた別の会議に出席されたあと、夜おそくロスアンゼルスに入られた。早速「ホテルに来ないか」との電話をいただいたので、ほど遠くない私の宿から出向いた。約束のバーで落ち合い、とまり木に座り、ウィスキーグラスを傾けながら、デンバーでの会議のことや、親善ゴルフの楽しかったことなどをお話いただいた。私はロスに入る前に見てきたイエローストーン国立公園(米国第1号の国立公園)の間歇泉オールドフェイスフルの雄大さに打たれたことなどお話し、誠に楽しい一時を過ごした。お話の中で私は今回の学会名の「ライフライン」なる言葉が非常に新鮮であり、大いに気に入っていたが、日本では一般化しておらず、マスコミにも出た

ことがないように思うので、その出所なり意義なりがいかなるものかをお伺いした。先生のご説明は「新潟地震におくれること7年後の、1971年アメリカでサンフェルナンド地震が発生、高架橋が落ちるなどの被害が生じたが、アメリカで注目したのは高架橋よりもむしろ水道、ガス、電気の施設に対する被害であった。この重要性に気づき研究を始めた。この分野について、マーティン・デュークという先生が、ライフライン地震工学という言葉を使ったのが始まりだった」と。まさに現在の日本においても、そうあるべきだと痛感したことだった。すでに夜も更けていたので、明日を約してお別れした。

さて翌日の会議では、先生は日本における過去から現在に至る地震の分析と、最近のライフライン地震工学の進歩状況について流暢な英語で論じられた。中でも地下埋設管の耐震基準にふれられ、ダクティル鉄管のS形耐震継手の性能などもご紹介され、盛んな議論が湧いた。

また、先生が常々おっしゃっていたことは、「安全は金で買うという考えが大事だ。これを基本にしないと色々な問題が解決していかない。丈夫なものにするよう、あとの祭りにならないように早く手を打つ、このように行政に動いてもらいたい。それをサポートするのが大学の研究機関であり、メーカーの立場だと思う」と。また、「埋設管の場合、実証することが難しいから、今までのデータ、これは神様がくれたデータだから、過去の地震時の被害状況を克明に解析することが大事」とも主張された。そのほか、事ある毎にご親切なご指導をいただいた。

話は変わるが、私どものアクアカルチャー基金が例年の行事として毎夏行っているフォーラムの平成7年度予定については、久保先生に基調講演をお願いし、片山先生と亀田先生の御三方で「ライフライン施設と地震を考える」のテーマのもと、平成7年7月31日、東京で行うことをすでに平成6年11月に決定し準備を進めていた。ところがその後、いくつかの

思いがけないハプニングが起こった。というのは平成6年12月28日の三陸はるか沖地震、明けて7年1月17日の兵庫県南部地震、4月1日の新潟県北部地震であった。いずれも悲惨さわまりない大被害をもたらせた。さらに誠に痛恨に耐えないことに、5月30日には先生が突如として世を去られたのであった。（冒頭に書かせていただいた勲二等瑞宝章の叙勲は、ご逝去の直後にお受けになったものである）まさに巨星が去り、天空が真暗闇になったような衝撃を覚えた。

思えば前年の9月末から10月にかけて、日米ライフライン液状化対策会議に日本代表として渡米され、その後少し体調を崩されたようであったが、お休みにならず。超多忙の毎日であられたようだった。その頃のご無理がお体にこたえられたのであろうか。誠に残念至極でならない。享年73歳であった。

先生はユーモアに富み、温かい寛容なお人柄で、太い黒ぶちの眼鏡の奥で、澄んだ眼差しがいつもニコニコ微笑んでおられた。今もなお先生のお側でお話をうかがっているような気がする大恩人であった。

技術レポート 7

天源豊 天は豊かなる源なり

「福岡市における水運用管理」

福岡市水道局水管理課
主査 藤野恭裕

1. はじめに

「本市上水道第一期拡張工事の功成りついに竣功の式典をあぐるにあたり…」ではじまる昭和9年3月の日付けが入った本市の第1回拡張事業抄誌を、最近目にする機会があった。

この小冊子の中には、大正12年に給水を始めた本市水道が、早くも昭和に入り水量不足を生じるようになり、昭和6年に起工した拡張事業の記録であった。また、工事の詳細とともに、30葉のセピア色の写真が掲載されている。

この写真には、近代水道100選にも選ばれた曲淵ダムの嵩上げ工事状況や、堤体の漏水防止のためのセメントガン工事、それに伴って貯水池内を空にした際の「鯉責全景」と題するのどかな写真もある。この中に「曲淵堰堤記念額石」と題する一葉が目にとまった。

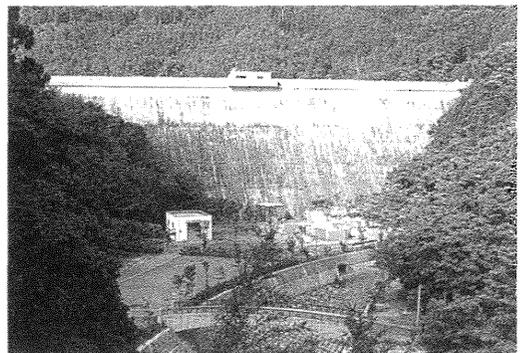
その写真には、墨痕あざやかに「天源豊」がしたためられていた。

この3文字がなにを意味するのか、だれが書いたのか興味をひかれて、すぐに現地に向かった。

現在も、かえでの大木に覆われた記念碑は、どっしりと貯水池を見据えていた。

碑文は当時の水道課長上田健介氏により昭和癸（みずのと）酉冬日（昭和8年冬日）に書かれ、その読み方は「天は豊かなる源なり」で、意味するところは「豊かな天（自然）の恵みに感謝し、その恵みが絶えることがない

写真1 曲淵ダム全景



よう」にとの願いが込められていると先輩から説明していただいた。

写真2 記念碑



まさに水道事業者として意を得たことばに感激するとともに、すでにこのときから始まっていた福岡市の水との戦いの1ページを垣間見る思いがした。

2. 厳しい水事情

今元気のある都市として全国的に注目をあ

びている福岡市は、市民の多くからも「住みやすい都市である」との評価を得ている。

これは「海」や「緑」といった豊かな自然とともに、年平均気温が17℃前後と比較的温暖で、さらに地震や水害といった災害の発生が少ないことにも起因している。

反面市内を流れる河川は、水道の水源としている多々良川、那珂川、室見川、瑞梅寺川の4河川があり、数は多いが、いずれも流域面積が100km²内外の中小河川で、大洪水もないかわりに水量も豊かではない。

このため水源確保には大正12年の創設以来、現在までに18回もの拡張事業を行って対応してきたが、過去になん度か渇水に見舞われた。その最大のもは昭和53年の大渇水である。

この渇水では、制限の一番厳しかった昭和53年6月1日から6月10日までの10日間は、給水時間が1日5時間で、さらに1日中水がまったく出ない断水地区や、出水不良地区が全世界帯の1割以上に及ぶ約4万5000世帯で発生し、また、水が出ても赤水や濁水で使用できない地区も数多く発生した。

写真3 市域遠景



このため運搬給水に自衛隊も出動するという、まさに争乱の様相を呈していた。

その後、緩急はあったものの翌年の3月24日まで、給水制限期間は延べ287日間に及び、さらに給水車の出動も延べ1万3000台を越えるなど日本水道史上例を見ない大渇水となった。

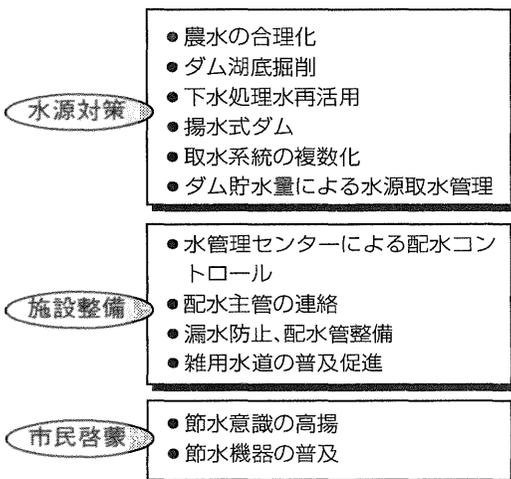
この渇水は、行政も市民も改めて福岡市における水問題の重要さと、合わせて水に対する環境の厳しさを学ぶ機会となった。渇水期間中の昭和53年12月には『福岡市節水型水利用等に関する措置要綱』を定め、水を安定的に確保することは市の責務であるとし、市民へも常に水の有効利用および節水に努めることをうたっている。

この要綱を基点として、本市の新たな都市政策が出発したといっても過言ではない。

3. 福岡市の安定給水対策

この昭和53年渇水以降、安定給水対策として「節水型都市づくり」を行ってきた。その特徴ある施策の体系を図1に示す。

図1 節水型都市づくりの体系



特に水運用面での効率化をめざすため、次の対策を行った。

(1) 取水系統の複数化

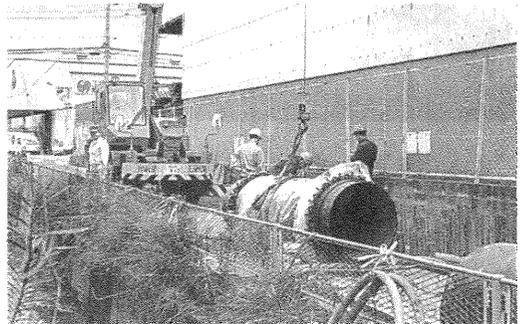
渇水をはじめ水源事故や停電などのトラブルに際して、一浄水場の単一水源だけでは安定供給確保ができないため、取水系統

の複数化を積極的に進めている。

これにより、トラブル発生時のスムーズな対応が可能となり、また、水源間の需給バランスを調整していくのにも効果を上げている。

現在も取水系統複数化対策として、水系の異なる多々良浄水場と番托取水場約12kmを呼び径800mmで結ぶ緊急連絡管工事を進めている。

写真4 緊急時用連絡管呼び径800mm工事



(2) ダム貯水量状況による水源、取水管理

本市ではさまざまな運用管理に関するアプローチを続け、現在はダム貯水量を判断基準として河川自流水を最大限取水し、ダム貯留水をできるだけ減少させないような運用管理に努めている。

(3) 水管理センターによる効率的な配水

水管理センターは、昭和54年度から昭和55年度までの2年間、総事業費約50億円で行われた配水調整事業により設立された。

写真5 水管理センター



このシステムは、配水管に設けた水圧計および流量計を監視しながら、電動弁を遠隔制御することにより、水圧、流量のコントロールを行うものである。

これにより、水源状況に応じた浄水場間の流量調整や余剰水圧削減による漏水量の削減、事故時の早期発見即時対応など大きな効果を上げている。

さらに渇水時には現地の水圧、流量が把握でき、安定給水確保に大きな力を発揮した。

また、行政から市民へ、の積極的な節水対策としてPR効果にも一役買っている。

(4) 配水主管の連絡

取水系統の複数化とともに、水管理センターの効果を高めるのに大きく貢献しているのが、配水管網の連絡である。

本市の配水形態は、浄水場付属の配水池5池と受水専用配水池1池から、自然流下方式で配水している。

このため配水池別給水エリアにすれば維持管理は容易であるが、事故時の融通性は受け持ちエリアが広範囲になるため非常に影響が大きい。

このため配水ブロック化を進めるとともに配水主管同士を接続し、給水エリア相互の融通機能を高めることとしている。

配水主管に用いる管種は、ほぼ100%をダクタイル鉄管とし、特に呼び径600mm以上の配水本管を「輸送管」と呼び、これらを市内要所に布設するとともに、互いにループし異常時のエリア変更に対処できるようにしている。

さらに、現在も図2のように浄水場相互を連絡する背骨の部分に呼び径1800～1350mmの大口径配水管を計画している。

図2 福岡市配水幹線概略図



4. 平成6年の渇水

昭和53年以来さまざまな安定供給対策を講じてきたが、平成6年に再び渇水に見舞われた。この年の年間降水量は、福岡管区气象台が観測を開始した明治23年以来最少値891mm（平年の55%）を記録した。

しかし昭和53年の自衛隊まで出動した渇水と比べて、苦情なども少なく、給水車が1台も出動せず市民生活への影響も最小限にとどめ「静かな大渇水」とも呼ばれた。

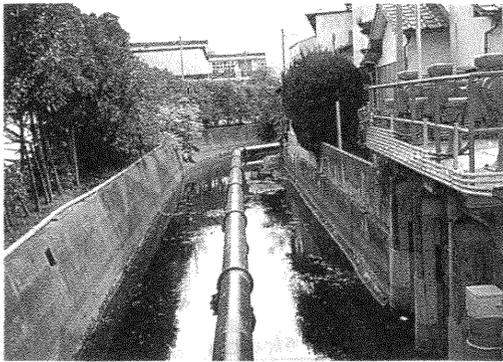
終わってみれば、給水制限日数は平成6年8月4日から平成7年5月4日まで295日間で、昭和

53年の287日を越える大渇水であった。

この渇水では被害を最小限にとどめるために、福岡市渇水対策本部を設置した平成6年7月20日以降、全庁的に節水に対するさまざまな取り組みを実施した。

さらにダム貯水量が減少し、河川取水も厳しくなった時点では、井戸や河川の緊急水源を運転したり、176haに及ぶ稲作休耕による水道用水の確保や、工業用水原水を水道用に転用を行うなど、まさにあらゆる手段を講じて対策にあたった。

写真6 工業用水転用のための仮設配管
呼び径500mm



これらのさまざまな取り組みによって、気象台開設以来の未曾有の少雨にもかかわらず、渇水による市民生活への影響は最小限にとどめることができた。

このことから市民の評価とともに、平成7年版水資源白書では、福岡市を「昭和53年渇水以降のさまざまな形での対策が、降水量はさらに少なかった今回の渇水の被害を給水面では最小限に抑えたといえる」と評価を受けている。

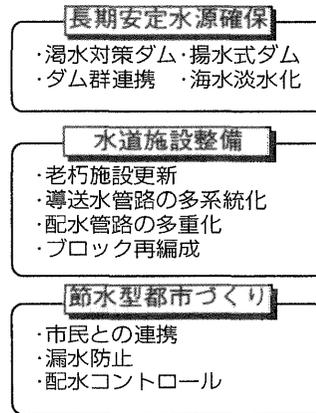
5. 今後の課題

福岡市は目前に迫った21世紀に向けて、「海と歴史を抱いた文化の都市」「活力あるアジアの拠点都市」として今後も都市機能の増大や生活様式の変化などによって、水需要はますます増大していくものと予測されるた

め、福岡市総合計画の中で西暦2010年（平成22年）には給水人口約146万3000人、施設能力75万9100m³/日を備える計画である。

また、水源確保とともに、今後の安定給水確保への取り組みとして、図3に示す施策を進めていく予定である。

図3 これからの課題



特に運用面からの課題は次のものがある。

(1) 渇水対策用ダム（五ヶ山ダム）

渇水になると、「節水型都市づくり」によって日頃から定着している「節水意識」と、限られた中小河川の高度利用の両面から、渇水に対する弾力性を欠く結果となる。このため福岡市の中心部を貫流し博多湾に注ぐ2級河川那珂川の上流に、渇水対策用ダムを建設中である。

このダムは、流水の正常な機能の維持をはかり、新規に日量1万m³の水道用水を開発するとともに、渇水時にも安定的に都市圏の生活用水を補給するため、渇水対策容量1660万m³を確保する五ヶ山ダム（有効貯水量3970万m³の多目的ダム）の建設が福岡県を事業主体として進められており、早期完成に向けて事業促進を図っている。

(2) 海水淡水化

新たな水源開発手法として、海水淡水化導入の可能性について調査研究を進め、技

術面や運営、経営面の調査を行ってきた。平成8年度からは、福岡県が中心となって都市圏全体の将来的な水源開発として検討が進められている。

(3) 配水池建設、配水ブロック再構築

安定給水の確保策として、拠点となる配水池建設を進めているが、特に需要の伸びが著しい西部地区には現在、容量2万3000m³の配水池を建設中である。

また、配水管理を効率的に進めるための、配水ブロックの再構築を進めている。

少子高齢化の進展や生産年齢人口の減少など、水道をとりまく環境も大きく変容しているが、従来からの「節水型都市づくり」を基本として、これまで培ってきた安定給水確保の諸政策とともに、変革の時代に対応した施策を積極的に進めていきたいと考えている。

6. おわりに

古来から、本市はアジアへの玄関口として栄え、古くからの町並みが随所に見られる。

また、高層のオフィスビルや福岡タワー、福岡ドームといった近代的な都市の一面も合わせ持っている。

そして5月は「どんたく」、7月は「祇園山笠」と祭りに酔い、生活の中にも古いしきたりが生きている。

その代表的なものに博多手一本がある。博多では祝い事の最後には「祝いめでた」という祝い歌を歌う。その後「手一本」の声がかかると一同は杯をおいて全員起立する。未練がましくもう一杯とか、ぐずぐずすると次回から声がかからなくなる。姿勢を正して「手一本」「いよう」しゃん、しゃん、「もう一つしょ」しゃん、しゃん、「よーと三度」しゃん、しゃん、しゃん。これで「めでたく終了」「後日異義なし」と見事に終宴となる。

都市の魅力はさまざまな要素が必要とされているが、このように古いもの、新しいもの、整然と整備されたもの、まったく統一性

写真7 博多祇園山笠



のないものなどすべてが混沌としたところにあるのかもしれない。

本年10月には、水道の全国総会が大分県別府市で開かれる。ぜひ機会があれば九州の玄関口、福岡の魅力に触れてみてはいかがでしょうか。

「まっとります！」

技術レポート2

西系列幹線(大保～伊波)導水施設事業にダクタイトイル鉄管を使用して

沖縄県企業局経営計画課

計画係長 名渡山兼男

1. はじめに

沖縄は珊瑚礁の島々からなる島嶼(しょ)県である。大きな河川や湖などの水源に恵まれず、降雨量が年によって、季節によって大きく変化し、水を安定的に確保することが困難な自然環境におかれている。

本県においては、昭和47年の本土復帰後、国の多目的ダム開発を中心に、多くの水源開発が行われてきたが、年々増大する水需要を十分に満たすまでには至っておらず、毎年のように水不足から給水制限が実施されている。

本企业局において、これまで浄水場の建設や導水管の布設など、多くの水道施設の整備を進めてきた結果、北部の比較的水源に恵まれた地区を除く本島29市町村と伊江村に対し約40万m³/日の用水供給を可能にしている。また、水道普及率は99.7% (平成7年度) と全国的に高い水準にある。

しかし、今後とも水需要量の増大が予想されるため、平成13年度における計画給水量を

1日最大58.3m³/日として、さらなる水源開発を進めている。これに対処するために、国の開発事業と平行して昭和55年度から独自の「西系列水源開発事業」に着手している。

今回、そのうち平成7年度より着工し、現在、建設途上にある西系列幹線(大保～伊波)導水施設事業についてその概要を報告するものである。

2. 上位計画としての

西系列水源開発事業

- この開発事業は、沖縄県における慢性的な水不足を解消し、年々増大する水需要に対処するため、沖縄振興開発計画に基づき、国による特定多目的ダムの建設と平行して県(企業局)が昭和55年度から進めている事業である。
- 事業の目的は、沖縄本島北西部13河川から豊水時の余剰水を取水し、国が開発を予定している大保ダムならびに再開発した

倉敷ダム（平成8年完成、旧名：瑞慶山ダム）に貯留し、水の安定確保を図るものである。

- その事業内容は、取水、導水、貯水施設等の整備事業からなり、北西部13河川の取水施設、大保ダムから倉敷ダムまでの導水

施設、瑞慶山ダム（新名・倉敷ダム）の再開発等である。

本西系列幹線導水施設事業は、上記「西系列水源開発事業」の一環として位置付けられている。

図1 沖縄本島水資源開発図

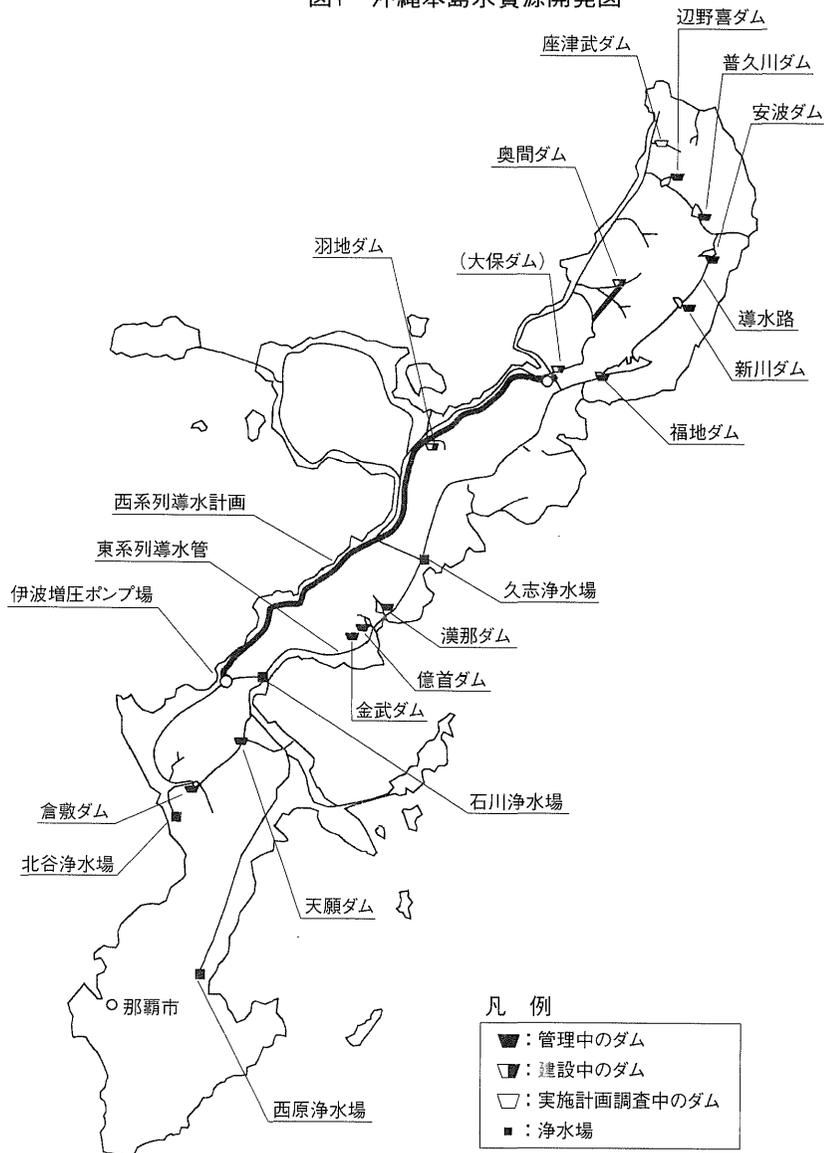


表1 西系列水源開発事業概要

項目	概要	
事業期間	昭和55年度から平成12年度	
総事業費	約1340億円	
開発水量	82,700m ³ /日	
主な施設	取水施設	取水ポンプ場（13ヵ所）建設
	導水施設	宇嘉～大保、満名～名護、伊波～嘉手納導水施設（完了） 西系列幹線（大保～伊波）導水施設建設
	浄水施設	北谷浄水場（施設能力：214,300m ³ /日） ※海水淡水化施設40,000m ³ /日を含む
	貯水施設	旧瑞慶山（倉敷）ダム再開発（国・県の共同事業）

3. 西系列幹線(大保～伊波)

導水施設事業の概要

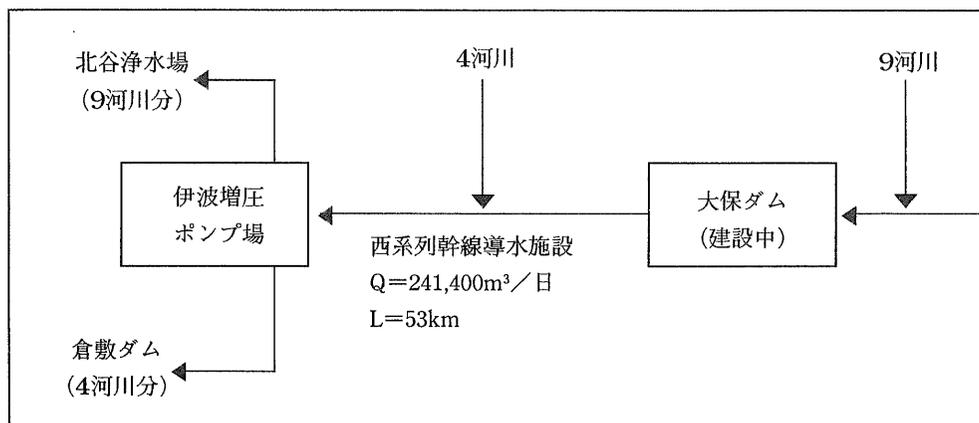
当事業は、大保ダムから取水して伊波増圧ポンプ場まで導水する施設であり、距離は直線にして約41km、計画導水ルート延長で53kmに及ぶものである。

導水方式は、大保ダムから取水されたダム水（河川水）を新設の大保導水ポンプ場で増圧し、ポンプ場近くの高所に予定している大保調整池に上げ、ここから自然流下で導水ルート中間の西系許田増圧ポンプ場、さらにこの増圧ポンプ場から伊波増圧ポンプ場まで導水するものである。

図2 導水施設計画位置図



図3 関係図



1) 導水管計画について

表2 導水管計画概要

事業期間	平成7年度～平成12年度
事業費	655億円
最大流量	241,400m ³ /日
導水計画延長	①L=53km φ1350×26.5km φ1500×26.5km ②区分 導水管 : L=41.73km トンネル : L=11.27km
トンネル	①名護導水トンネル φ1350/φ1500×8.90km ②許田導水トンネル φ1500×0.45km ③幸喜導水トンネル φ1500×0.65km ④伊波導水トンネル φ1500×1.27km
導水管 布設位置分類	①国道58号 ————— 23.7km ②県道（管理国道含む） ————— 4.3km ③市町村道 ————— 3.7km ④県営農道 ————— 2.5km ⑤市、村、農道 ————— 4.3km ⑥その他（河川、里道、私有地） ————— 14.5km

2) 布設ルートの検討

昭和55年度の基本計画着手以来、道路案、トンネル案そして併用案等のいくつかのルート案が以下の項目について比較検討された。

1. 施工性
2. 環境への影響
3. 残土処理量
4. 協議調整対象

5. 概算工事費

6. 年間維持管理費

各項目に対し危険度、難易度、影響度を各々3段階に分類、評価を行った。最終的には、国道58号線に沿う開削工法案を基本とし、内陸部への迂回ルートについては開削あるいはトンネルとする案で決定をみている。また、トンネルはその中に管を内挿する圧力トンネル方式となっている。

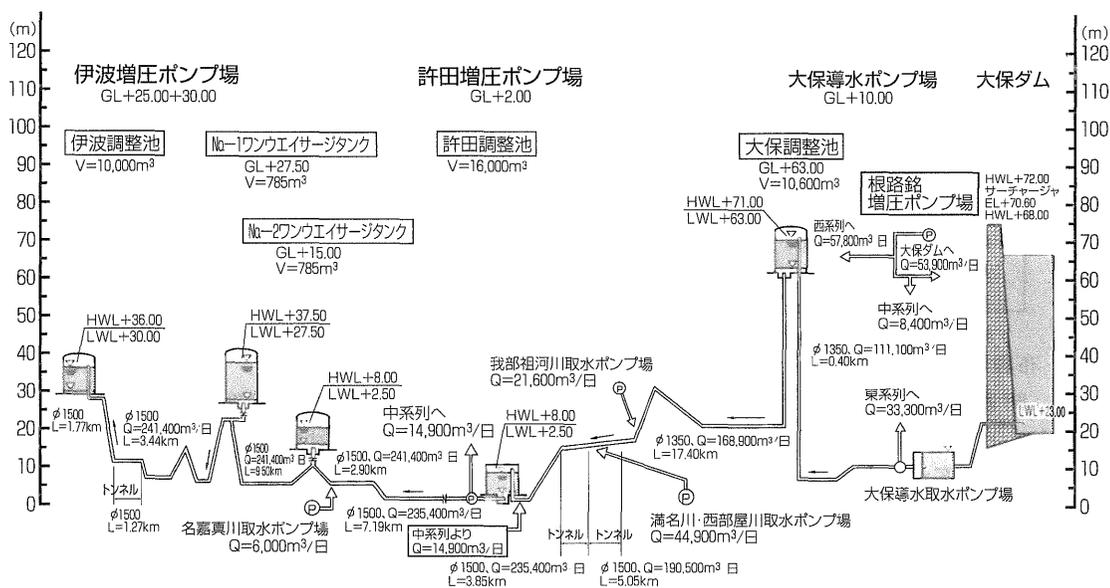
3) 流量表と水位フロー図

表3に流量表を、図4に水位フロー図を各々示す。

表3 流量表 (m³/日)

測 点	流出入量 (m ³ /日)	本管流量 (m ³ /日)	呼び径 (mm)	管路長 (km)	備 考
大保導水ポンプ場	▲33,300	144,400 111,100	1350	0.40	開 削
大保調整池	57,800	168,900	1350	17.40	開 削
我部祖河川合流点 名護導水トンネル	21,600	190,500	1350	5.05	トンネル
満名川・西屋部川合流点	44,900	235,400	1500	3.85	トンネル
許田増圧ポンプ場 許田トンネル 幸喜導水トンネル		235,400	1500	0.45	トンネル
		235,400	1500	0.65	トンネル
		235,400	1500	6.09	開 削
名喜真川合流点	6,000	241,400	1500	2.90	開 削
サージタンクNo-1		241,400	1500	9.50	開 削
サージタンクNo-2		241,400	1500	3.44	開 削
伊波トンネル		241,400	1500	1.27	トンネル
		241,400	1500	1.77	開 削
伊波増圧ポンプ場					

図4 水位フロー図



4. 適用管種とその使用区分について

過去の使用実績ならびに耐震性評価の面から、今回ダクタイト鑄鉄管（JIS G 5526）と水輸送用塗覆装鋼管（JIS G 3443）の2つの管種が採用された。

1) ダクタイト鉄管と土壌調査

布設予定ルートに占める海岸区間の比率が高いため、事前に土壌の腐食性調査を実施し、防食設計のためのデータを収集した。

1.調査地点：大保ポンプ場付近他27地点

2.調査項目

- ・アースオーガーによるボーリング調査
- ・四電極法による対地比抵抗測定
- ・土壌の分析調査
- ・ANSI A21.5による土壌の腐食性評価

3.調査結果

ANSI A21.5による腐食性評価の結果、27地点のうち危険点である10点を越える地点が22地点を数えた。

0≦X<10 5ヵ所

10≦X<15 14ヵ所

15≦X 8ヵ所

これらの結果を参考に、ダクタイト鉄管はポリエチレンスリーブ工法を標準仕様としている。

2) 布設ルートと特殊工法

管種の使用区分を検討するに当たり、特殊工法の適用性も判断基準のひとつとなった。布設予定ルートのかなりの部分が、県下でもっとも交通量の多い国道58号線に沿うこと、また、許田増圧ポンプ場から下流側ルートは、観光県沖縄を代表する有数のリゾート地帯を通過すること、などから長期間の道路占有が難しく、非開削工法（推進工法）の採用比率が高くなることが予想され、その場合の両管種の比較検討も行った。

3) 管種使用区分

布設環境に対する最適性、特殊工法への対応性等を比較評価した結果、管種の使用区分をおおむね次の通りと考えている。

表4 使用区分

位 置	ダクタイト鉄管	鋼 管
海岸地帯	○	—
内 陸 部	—	○
トンネル内	—	○

5. 耐震性評価

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災において、水道管路は壊滅的ともいえる被害を受けた。管路の被害は特に亀裂、崩壊、液状化による側方流動等の地盤変状が発生した地域で多発したが、ダクタイト鉄管についていえば堅固な安定した地盤では相当な耐震性を発揮したことが確認されている。このため、管路の耐震化を検討するためには、地震時の地盤変状の可能性を把握し、適切な継手形式を選定することが重要と考えられる。

この西系列導水施設は、北部の水源地と中南部の消費地を連絡する生命線であり、また、併せて現在の主力施設である東系列導水路を補完する役割を持つ重要施設となる。このため、以下に示す方法で管路の耐震性を評価することとした。

1) 地盤の液状化の判定と耐震計算

すべての布設区間において、事前に地盤の液状化現象の発生の有無を確認し、その結果、液状化すると判定された区間については、より耐震性の高い管種選定や工法を採用することにした。

1.液状化判定法

「水道施設耐震工法指針・解説」1997年度版により実施している。土質試験結果およびN値に基づきF法により判定することを基本とし、深度10～25m区間についてはP_Lによる判定も加味している。

判定のためのボーリング調査は、最終的には計画区間において約50mごとに実施している。

① 液状化判定を要する地盤条件

- ・地表面より25m以浅の飽和土層
- ・平均粒径D₅₀が10mm以下
- ・細粒分重量含有率が30%以下

② 液状化判定のフローシート

図5 液状化判定のフローシート

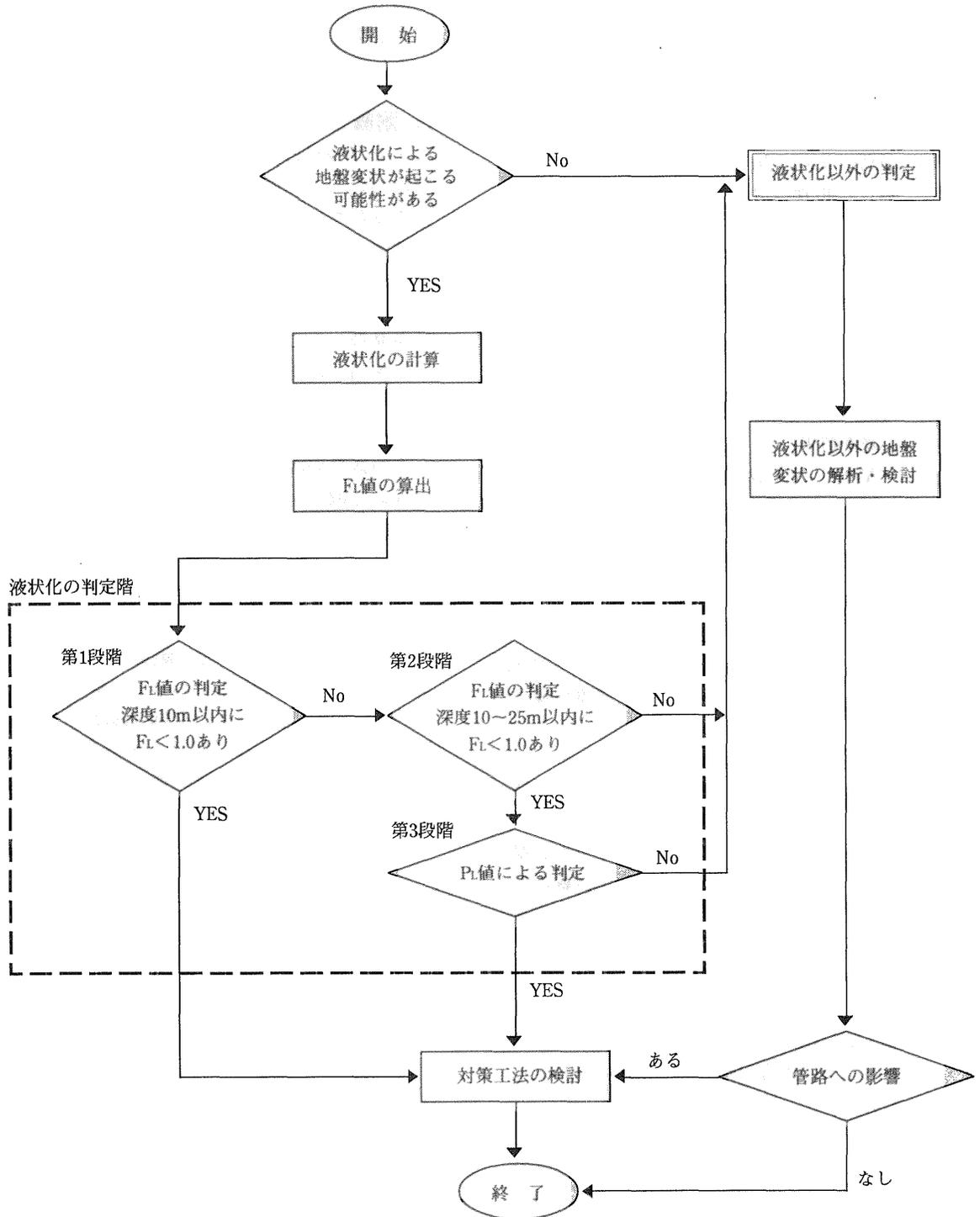
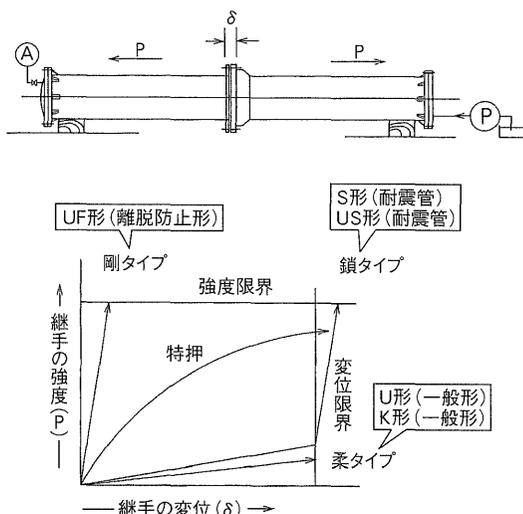
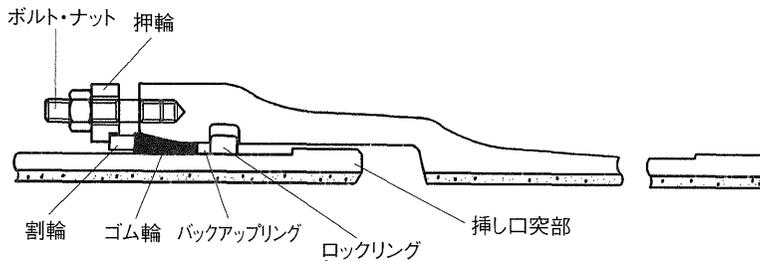


図6 継手特性とS形管



S形管構造図



6. 配管設計・施工について

1) 基本諸元

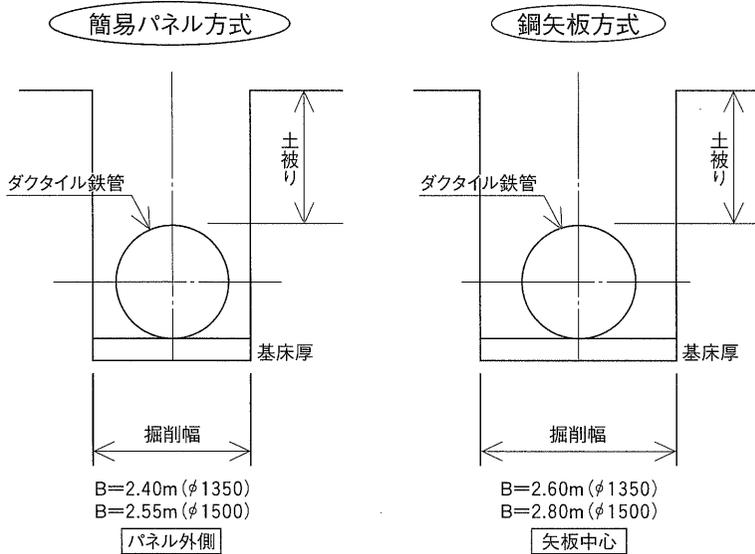
表6 基本諸元

	大保調整池 ～許田増圧ポンプ場	許田増圧ポンプ場 ～伊波増圧ポンプ場
①導水方式	自然流下式	ポンプ加圧式
②基本水位	大保調整池のHWL EL=71.0m	許田増圧ポンプ場の動水位 EL=87.5m
③計画通水量	表3参照	
④設計水圧	設計水圧=静水圧+水撃圧 ・ 静水圧=大保調整池 (HWL: 71.0m) - 管芯高 ・ 水撃圧=5kgf/cm ²	設計水圧=静水圧+水撃圧 ・ 静水圧=動水位 (EL: 87.5m) - 管芯高 ・ 水撃圧=5kgf/cm ²

2) 標準掘削断面

土被りは1.5m以上を原則としている。また、基床厚は地盤条件により4通りに分類している。

図7 標準掘削断面



3) 推進工法について

今回、多くの工区で推進工法による施工が計画、実施されている。

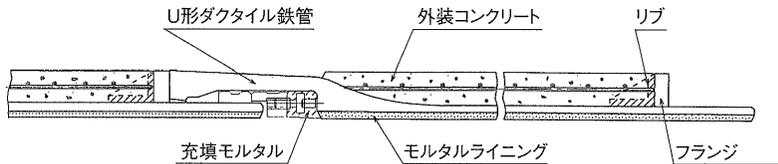
1. 推進管規格と構造

JDPA G 1029（推進工法用ダクタイトイル 鑄鉄管）によるU形およびUS形推進管の構

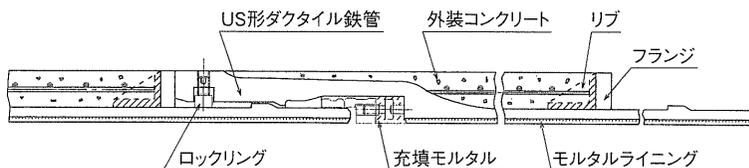
造を図8に示す。いずれも泥水工法が多く採用されていることから、植え込みボルトレスタイプが主流となっている。

図8 推進管構造（U形／US形）

U形推進管（一般形／植え込みボルトレスタイプ）



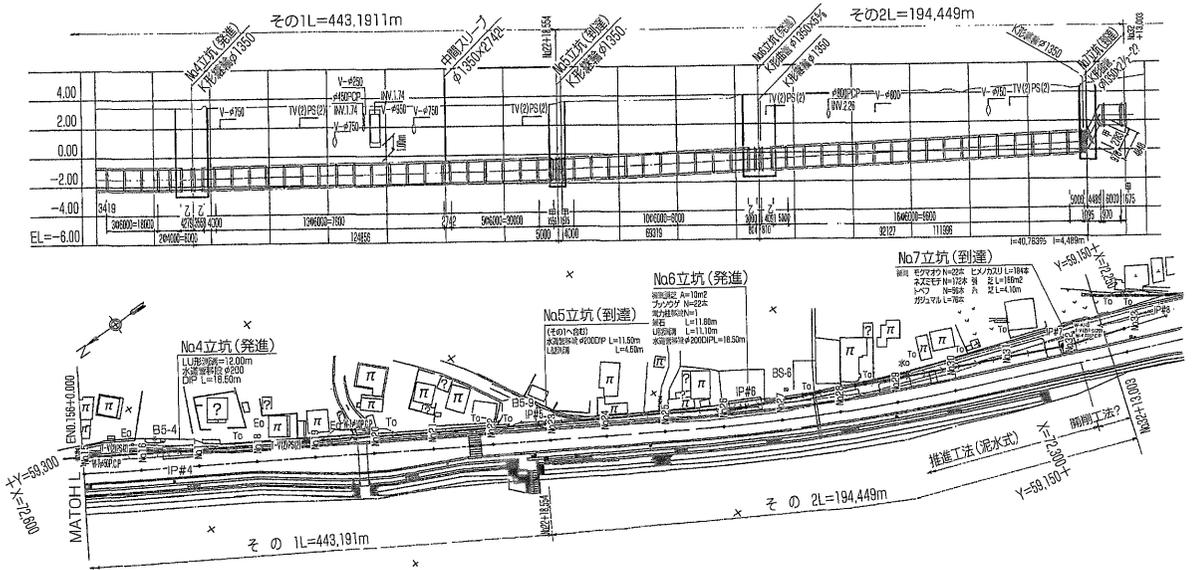
US形推進管（耐震形／植え込みボルトレスタイプ）



2.推進工法の種類と施工例

タイプ1	刃口推進工法
タイプ2	セミシールド推進 (泥水工法)

図9 推進工法例



4) 施工写真



7. おわりに

沖縄本島の水資源は、主として北部山岳地帯を流れる河川に偏在しており、年間降水量は本土に比べ約30%も多いにもかかわらず、その利用率は約10%と本土の半分程度の水準になっている。

一級河川はなく、二級河川以下についても小さな流域面積、短い流路延長と急勾配のた

めに流量の確保がきわめて不安定(降雨時に未利用のまま海に流出する)であり、水資源としての有効利用が著しく制約されている。

これら河川水を河口付近に設けた堰を利用して取水し、安定水源として開発する西系列水源開発計画の残された事業としては、①残る2河川(11河川の取水施設は完成)の開発、②今回紹介した西系列幹線導水施設の整備の推進、③国直轄の大保ダム of 早期完成の3つが上げられる。導水管については、計画延長約132kmのうち大保一伊波間の53kmを除く79kmがすでに完成し現在供用中である。

「多数の小規模河川とダムの組み合わせによって安定水源の確保を図る」ことを命題として当事業を推進しているが、複雑多数に分散した施設の機能を十分に発揮させるとともに、効率的な施設管理の確立が今後の重要課題と考えている。

技術レポート3

耐震形ダクタイル鉄管(SⅡ形) による第7次拡張事業

福岡県川崎町水道課

工務第1係長 藤川英則

1. はじめに

ふるさとを愛し、ふれあいのある町をめざす川崎町は、福岡県中央部よりやや東寄りに位置し、東西4.9km、南北12.6kmの総面積36.12km²に及ぶ南北に細長い町である。

北は田川市、東は大任町・添田町、南は山田市および嘉穂町に接し、周囲を山に囲まれた田川盆地の南部にあって、九州北部の内陸型気候のために、温暖でしかも風水害の少ない良好な気象条件に恵まれている。

町はJR九州豊前川崎駅を中心に、東西約1kmにわたり商店街が続き、これを取り巻く形で住宅街が形成されている。北部は住宅団地、集落が混在し、この地区を貫通する国道322号線および県道添田赤池線の沿線には各種店舗等の商業施設が、また、国道322号のバイパス沿いには企業が多く進出し、商工業地区として発展している。南部は県道田川桑野線沿いおよび中元寺川両域に豊かな穀倉地帯と集落が点在する

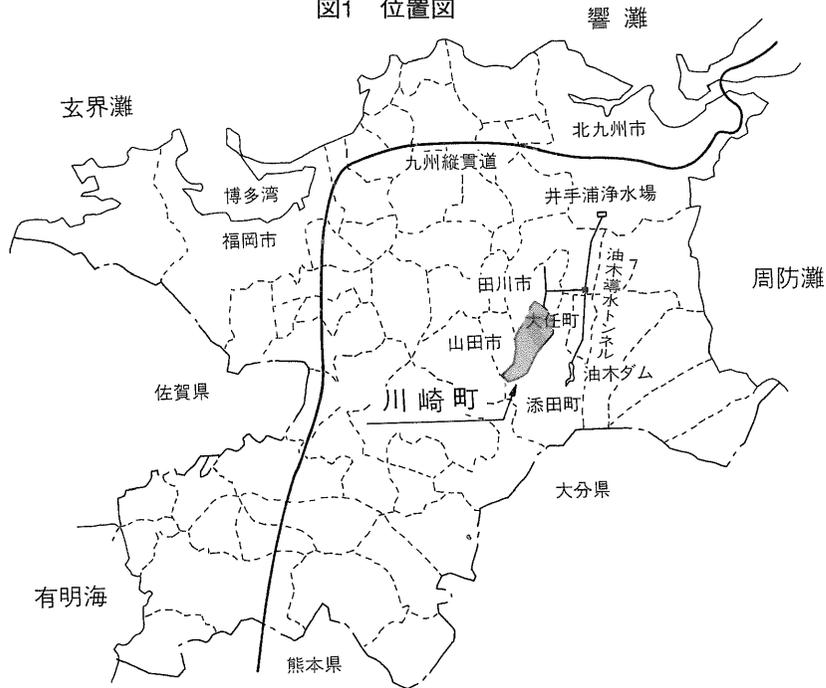
農村地帯となっている。一方、自然豊かな最南部の山間地には、近年、観光リンゴ園に併設してキャンプ場などの施設を備える溪流と森林の「戸谷自然ふれあいの森」が完成した。

本町は石炭産業とともに発展してきたが、昭和33年当時の人口4万3102人をピークにその後は減少の一途をたどり、平成2年には2万2046人と約半減している。しかし、人口の減少に反して世帯数は微増傾向にあり、格家族化が進んでいることが伺える。水道の普及率は95%と全国平均並みであるが、南部地区に集中的に未普及地域を残している。

2. 水道事業の沿革

上水道の創設は、昭和32年4月17日に池尻および本町地区を対象として認可を受け、昭和34年5月より給水を開始したことによる。その後拡張事業を進め、昭和45年の第3次拡張事業

図1 位置図



では炭鉱閉山に伴うそれらの施設整備事業を実施した。

移管に伴うさまざまな問題をかかえながら、1日最大給水量を $3,300\text{m}^3/\text{日}$ から $6,270\text{m}^3/\text{日}$ と増大する一方、炭鉱の水道施設を引き継いだために施設管理に多くの労力と費用を要してきた。

昭和53年の第5次拡張事業では、水源を地下水に求めた真崎浄水場を新設し、無人化自動運転による給水を開始した。しかし、水源池の地質が鉄・マンガンを多く含む古代3紀層（大焼層）頁岩のため、水質の保持には特に注意を払わねばならなかった。この拡張では給水量を $8,400\text{m}^3/\text{日}$ まで増大した。

平成6年、西日本一帯は過去に例のない異常渇水に見舞われ、本町も初めて夜間断水を余儀なくされた。水の大切さを痛感した年であったが、その傷が癒える間もなく平成7年1月17日に阪神・淡路大震災が発生し、その甚大な被害の模様から水道施設の脆さを改めて知らされた思いがした。

現在、平成3年7月5日に認可を受け、平成12

年を目標年次とする第7次拡張事業を執行中である。自己水源 $7,000\text{m}^3/\text{日}$ に加え新たな水源を求めて広域的水道整備計画（ $5,000\text{m}^3/\text{日}$ ）に参画し、合計給水量を $1万2000\text{m}^3/\text{日}$ とする計画水量を設定している。

この事業では、田川地区水道企業団からの受水方式を併用するとともに、地下水に依存した旧浄水場を休止し、老朽化した浄水場の改築を計画している。また、施設・管路の耐震化に当たっては、国・県の補助を積極的に活用し、ライフラインとしての水道施設の高機能化と安定化に努めている。

3. 水道施設の概要

水利系統図を図2に示す。広域水道計画分は、建設中の耶馬溪導水トンネル、既設の油木導水トンネルを経由し、大内田横坑分水井から田川地区水道企業団に連絡されたあと、島廻および真崎の2ヵ所の配水池で受水される。

一方、自己水量分は、中元寺川表流水、彦山川伏流水および若干の大峰水源地下水を水源とし、新たに川崎浄水場を建設中である。

図2 水利系統図

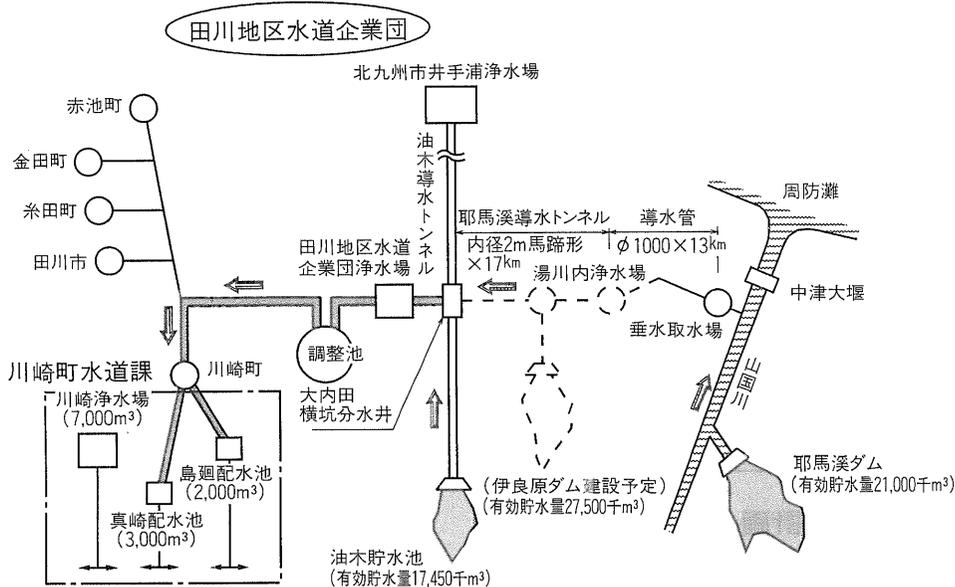


図3 浄水施設フロー図

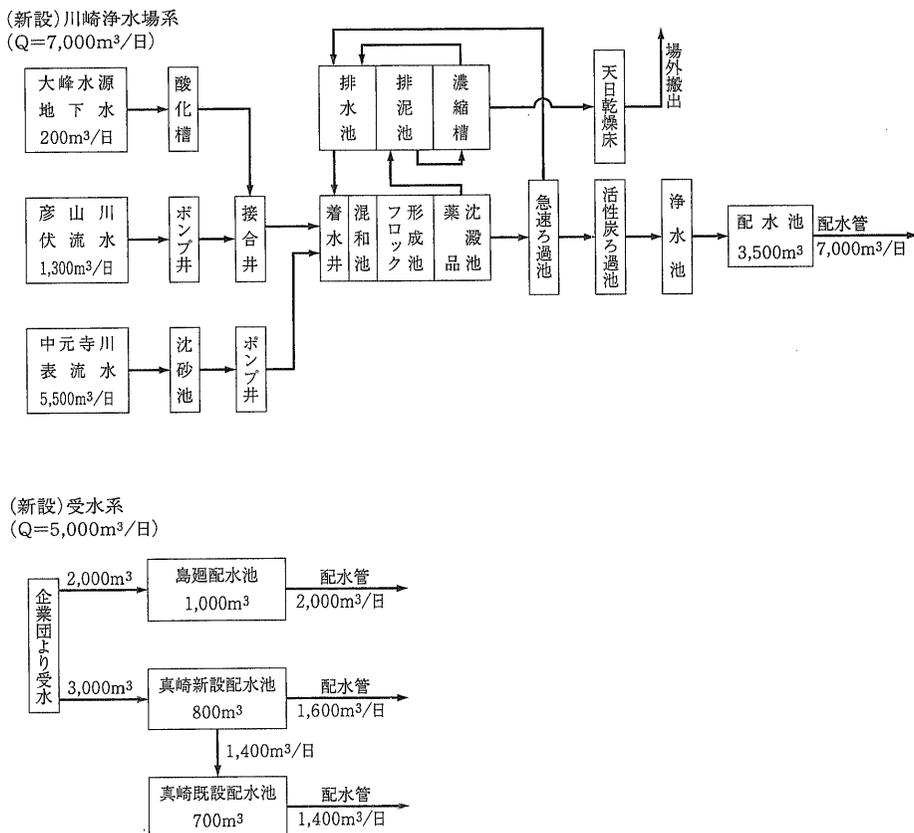


表1 第7次拡張事業概要

工種	形式	有効容量/延長	施工年度	備考
新設浄水場 広域水道	急速ろ過方式 企業団受水	Q1=7,000m ³ /日 Q2=5,000m ³ /日 計12,000m ³ /日	平成6~12年度	建設中
配水池	地上式円筒形PCタンク	960m ³	平成7年度	完成
〃	〃	1,100m ³	〃	〃
〃	〃	3,600m ³	平成10年度	計画
配水管 (補助)	ダクタイル鉄管	1,400m	平成7~8年度	完了
〃	SⅡ形φ250	1,200m	〃	〃
〃	φ200	3,200m	〃	〃
〃	φ150	1,070m	平成6年度	〃
〃	A形φ250			
配水管 (単費)	SⅡ形φ300~φ100	10,000m	平成4~12年度	建設中

4. 配水管整備計画

1.SⅡ形耐震管採用の背景

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災は、全国の水道事業者にとって大きな課題を提起した。第7次拡張事業において、一部配水管整備に着手した段階でこの震災が発生したわけであるが、被害状況が明らかになるにつれ、水道施設における管路施設の耐震化の重要性が浮き彫りになってきた。

当初、配水幹線はA形ダクタイル鉄管により計画・一部施工されてきた。しかし、管路被害が継手部に集中するのを目の当たりにし、これらの改善の必要性を痛感した。

さらに問題がある。川崎町はもちろんのこと、近隣市町村は石炭産業で栄えてきた町ばかりである。そのルーツは江戸時代末期にさかのぼり、最盛期の昭和20~30年代には採炭会社が30数社を数えるに至った。出炭量も昭和26年から昭和46年の廃鉱までに1000万トン（川崎町誌資料による）に及んだ。しかし、採掘後の坑道は放置されたままであり、坑内には地下水が充満して、かろうじて安定を保っている状態にある。

このような地理的地盤的条件下にある本地区で地震が発生した場合、水道施設が受ける被害はさらに多大なものになるであろう。

また、無許可採掘が原因である浅所陥没事

故が、毎年十数件報告されている。そのほか図6に示すように、給水区域内には幾多の断層が認められている。本町の送配水管路網はこのような不安定な埋設条件下におかれているのである。

ここに第7次拡張事業において、SⅡ形ダクタイル鉄管を採用した最大の理由がある。伸縮・可とう性に加え、離脱防止性を併せ持つ継手構造の特長を生かし、地盤変動に柔軟に対応する鎖構造（免震）管路の形成を可能にすることこそ課題解決のための最適手段のひとつと考えている。

SⅡ形耐震管の導入にあたり、構造、性能、施工法を学習・確認する一方、近隣市町村の採用状況を調査した。その結果、田川地区水道企業団にて軟弱地盤地帯での部分採用の実績を確認、参考にすることができた。

また、近年水質への関心が高まっている。原水の水質が良く、優れた浄水施設を有しても配水過程で濁水を生じてはならない。信頼できる安全でおいしい水道、ゆとりある安定した水道をめざし、次の時代に繋げていかねばならない。このために今回、建設費の増加にもかかわらず、異形管と同様に内面エポキシ樹脂粉体塗装直管を併せて全面採用することにした。

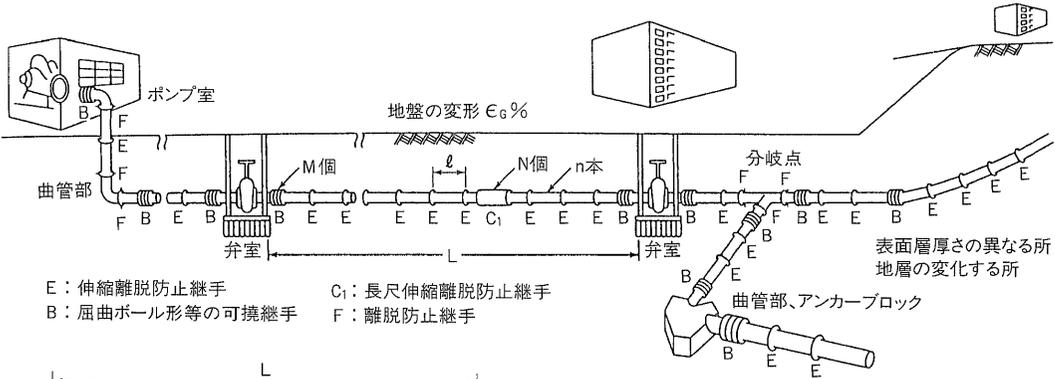
2. 鎖構造管路を形成するSⅡ形管

継手構造管路であるダクトイル鉄管について、「水道施設耐震工法指針・解説 1997年版」では、管路の直線部には伸縮量が大きく、抜け出しを防止する機能を持った伸縮離脱防止継

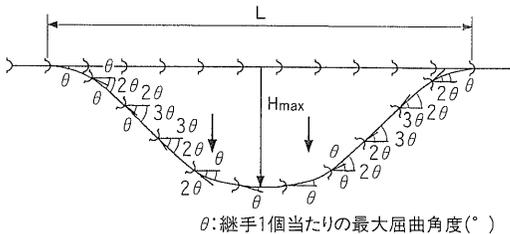
手を使用し、鎖構造管路とするとある。

また、側方流動、沈下、断層変位などの管軸直角方向の挙動に対しても、地盤の変形量を照査し、同じく鎖構造管路で対応するとある。

図4 継手構造管路の概念図

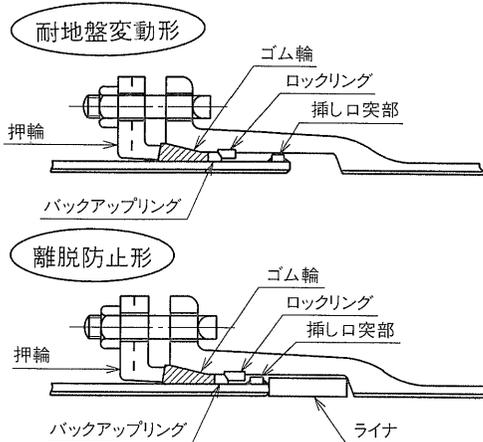


「水道施設耐震工法指針・解説 1997年版」より



継手構造管路の管軸直角方向への挙動

図5 SⅡ形管構造図／特性表



適用呼び径	φ 75～φ 450
伸縮余裕長	管長の±1%
許容曲げ角度	φ 75～φ 250:4° φ 300～φ 450:3°
離脱防止力	0.3D (tf) D:呼び径(mm)

3. 浅所陥没事故と断層

地表付近の無許可採掘による地盤陥没事例を写真1に示す。このような光景は多くの場所で見られ、時としてその陥没深さが10mを越えることも珍しくない。また、図6に代表的な地質断面図と断層の例および図7に埋戻構造図の例を示す。

写真1 陥没事故



技術レポート4

富山市における 管路耐震化の実施概要

富山市水道局工務課
主幹 東 輝雄

1. はじめに

富山市は明治22年4月に市制を施行してから今年で108年を迎え、1世紀にわたり水害その他の天災や戦災など幾多の困難を乗り越えて、今日、日本海側有数の中枢都市として大きく発展を遂げている。

到来する21世紀に向けて、富山市がめざす都市像「まちには活気と風格、人々の心にはやすらぎと意欲が満ちあふれる『ふるさととやま』」の実現を図るため、都市整備を積極的に推進している。

水道事業は、昭和9年に簡易水道として近代水道のスタートを切ったあと、戦災復興や高度成長経済時代を経て、急増する水需要に応えるため、また、隣接町村の合併もあって施設の統廃合を行いながら、昭和60年度まで4期にわたる拡張事業を行ってきた。

その後は、一部老朽している配水管の更新を中心とする配水施設整備事業を推進し、現在は今世紀末を目標に第3次5カ年整備計画を

実施している。このような状況下において、平成6年に安定供給をめざす「プロジェクト2001」計画の策定作業に入り、主要事業のひとつとして老朽化した石綿セメント管、高級鋳鉄管等管路の更新・耐震化を盛り込んだ計画を平成7年2月に立案した。

ここでは、管路の耐震化施策決定に至る概要とダクタイル鉄管NS形耐震継手採用の経緯について報告する。

2. 配水管網の現況

1. 富山市の配水管網の現況

昭和9年の水道創設当時から昭和30年頃までの配水管は、主に鋼管で布設されていた。その後、昭和20年代後半から昭和30年代中頃までは高級鋳鉄管が採用されたが、これ以降の需要拡大期では、事業量の拡大に対応するため、配水本管には鋳鉄管が、配水支管には石綿セメント管が使用された。

一方、周辺の15に及ぶ集落（村）では簡易水道が普及し、配水管の主流は石綿セメント管で、呼び径50mm以下ではポリエチレン管も使用されていた。昭和46年度から着手した第4期拡張事業で簡易水道をすべて統廃合することになり、その後も存続するこれらの管路は本市水道が管理することとなった。

この時期を境に石綿セメント管から塩化ビ

ニル管に替わり、本格的にダクタイル鉄管が導入された昭和57年頃までは、このように多くの管種が使用された。そのため現在、維持管理面において漏水修繕や連絡工事が複雑で、その資材の調達・確保に苦悩する状況にある。

表1、2に、平成8年度末現在の配水管布設延長と配水管漏水件数の推移を示す。

表1 平成8年度末の呼び径別管種別配水管布設延長 (単位 m、%)

管種		呼び径	1350mm～ 300mm	250mm～ 75mm	50mm以下	計	構成比率
(注1) 鑄鉄管	耐震管		2,524	173,506		176,030	9.3
	その他		81,805	786,037	18,142	885,984	47.0
鋼管			15,832	22,467	20,031	58,330	3.1
石綿セメント管			1,119	113,671	14,159	128,949	6.9
塩化ビニル管	T S 継手			131,704	114,430	246,134	13.1
	R R 継手			131,147	247,668	378,815	20.1
ポリエチレン管					10,006	10,006	0.5
計			101,280	1,358,532	424,436	1,884,248	100

注1：ほとんどがダクタイル鉄管。(平成7年度末での高級鑄鉄管の布設延長は約40km)

表2 管種別配水管漏水件数の推移 (単位 件)

年度	管種		鑄鉄管		鋼管		石綿セメント管		塩化ビニル管		その他		計
	直管	継手	直管	継手	直管	継手	直管	継手	直管	継手	直管	継手	
昭和63年度	18	0	59	2	103	3	58	162	8	0			413
平成元年度	23	1	34	0	88	1	47	134	7	1			336
〃 2年度	24	1	30	1	103	11	72	124	11	0			377
〃 3年度	14	8	51	5	110	1	42	161	19	0			411
〃 4年度	16	1	58	3	78	4	51	168	9	0			388
〃 5年度	12	0	37	0	64	4	67	143	21	1			349
〃 6年度	20	4	35	1	66	3	48	176	36	1			390
〃 7年度	15	1	30	0	81	2	54	215	27	0			425
〃 8年度	14	1	32	2	79	2	47	162	28	1			368

2. 配水施設整備事業の概要

第4期拡張事業の目標年度であった昭和60年度の翌年から第1次配水施設整備5カ年事業に着手し、当時445km（残存率27%）もあった漏水事故の多発する石綿セメント管やポリエチレン管の路線を優先して布設替えを実施してきており、現在第3次2年目に入っている。また、同時に「赤水」の発生要因となっている無ライニング鑄鉄管や鋼管の更新事業55km（残存率3%）は、第2次配水施設整備事業から着手し、石綿セメント管と同様に計画完了目標年度の今世紀中には終える予定である。

現在実施中の第3次配水施設整備事業の概要を表3に示す。

来る21世紀からは、現在布設延長256km（残存率13.5%）のTS継手塩化ビニル管およびポリエチレン管の更新事業を推進するため、平成10年に調査（更新計画台帳等の作成）し、同11年には実施計画（3期15年程度）を策定する予定であり、これが完了すれば現在布設延長379km（残存率20.1%）のRR継手塩化ビニル管を残し、すべてダクタイル鉄管に切り替わることになる。

表3 第3次配水施設整備事業の概要（平成8年度～12年度）

事業 量・額	新設工事		改 良 工 事					合 計
	本管	支管	老 朽 管 更 新			その他の 改良工事	他工事 (下水、道路)	
			石綿セメント管 単 独	他工事	無ライニ ング管			
事業量 (km)	20.0	75.0	74.8	99.5	42.2	20.0	250.0	581.5
事業額 (百万円)	4,090.9		16,343.2			1,365.4	14,801.5	36,601.0

3. 管路耐震化に向けての液状化調査

1. 地形・地質

富山市は日本海に面した本州の中央部に位置し、南部は飛騨山脈に連なる台地で、北部は富山湾を抱くように富山平野を形成している扇状地である。西側には呉羽山丘陵が突出し、常願寺川・神通川の二大河川で市内を三分している。富山平野の台地を構成するのは第四紀世（更新世後期）の半固結堆積物であり、低地を構成するのは第四紀世（完新世）の未固結堆積物で、北に開いた船底型の地形に沖積層が堆積しているような形状を示している。

このように、丘陵地を除けば砂礫や粘土等の軟弱層の上に形成された都市で、しかも、中小河川が多く散在するため、地下水で飽和されているものと推定できる。

2. 背 景

この地域は、石川県境の御母衣（みほろ）断層による天正13年（1586年）のM7.8と跡津川断層による安政5年（1858年）のM7.0～7.1（震度V～VI）の大地震以降大きな地震を経験していない。このことから、富山県はもともと震害の少ない地域として容認してきたところである。

折しも、平成5年2月の日本海側で発生した能登半島沖地震M6.6（富山市震度IV）を契機に震害の可能性を危惧する中、従前の「富山市水道防災計画」に代わって、地震時における応急対策が現実的に活用できるよう福井地震を想定した「水道局震災対策計画書」に抜本改定し、平成6年1月にまとめ上げた。

同時に、市議会や職場においても、地震時におけるライフラインの安全性とその被害予測が

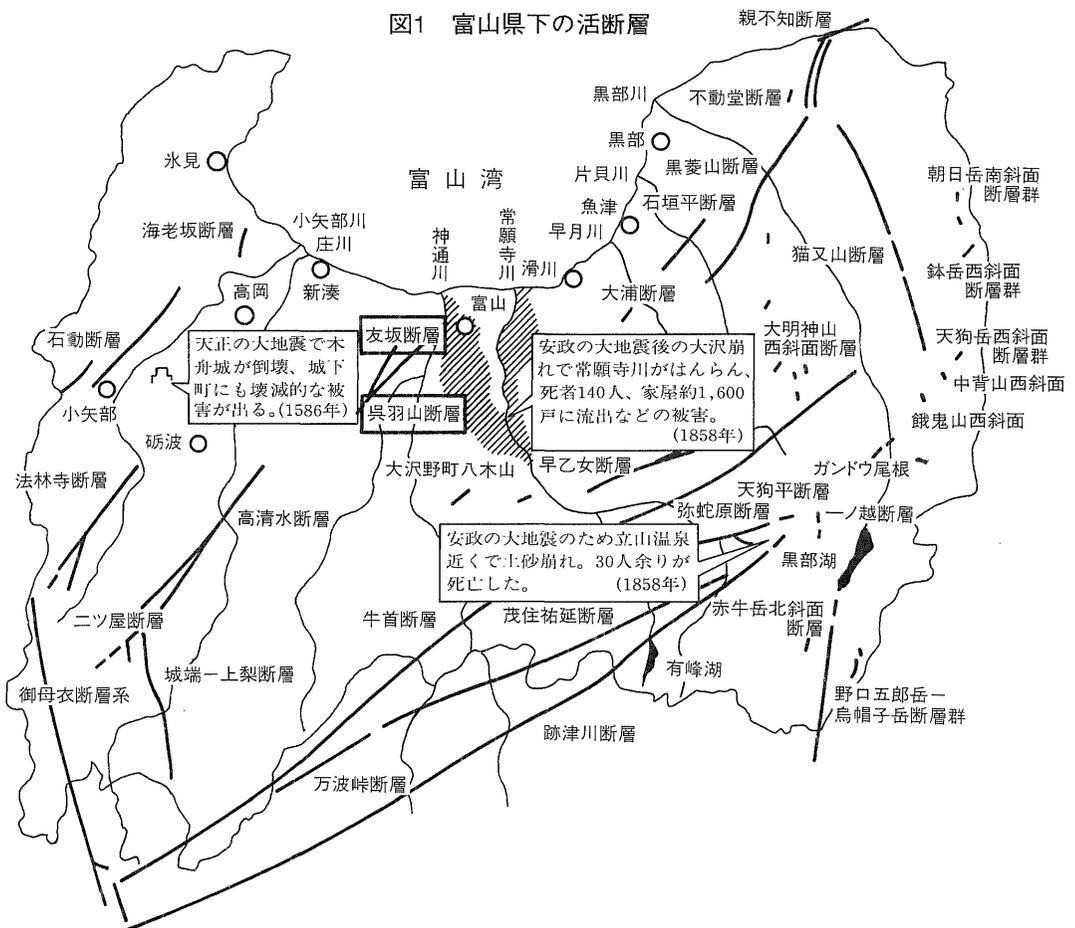
話題になる中、開発中の富山駅北土地区画整理事業の一角に配水幹線布設の計画があったので、急遽、耐震管を試験採用（平成6年3月布設）することにした。これが本市における初めての耐震管（SⅡ形呼び径400mm、L＝106m）である。

3. 覆される安全神話

安全神話の風潮が強かった本市において、

改めて地震発生の可能性を検討してみたところ、活断層であることが確実な市内の呉羽山断層（長さ10km）、友坂断層（長さ4km）を含む富山県下での活断層は、現在36カ所が確認または推定されている（図1参照）。いずれも1000年以上動いていない上、活動記録もないだけに今後直下型地震の可能性を否定できないことが判明した。

図1 富山県下の活断層



4. 地盤変状調査

過去の地震では、管路の被害は特に亀裂・崩壊・液状化による側方流動等の地盤変状が発生した地点で多発しており、管路被害に高い相関関係を持つことが確認されている。

とりわけ、新潟地震で認識の高まった液状化による地盤変状は数10cm～数mに及ぶことから、液状化の可能性の高い地盤での耐震化は優先的に行っていく必要を憂慮していたところである。

中小自治体規模における管路の耐震化には、労力を避けるため無条件採用も一考されるが、費用対効果の観点から、耐震化を効率よく進めるための地域区分と優先順位付けが問題となる。これより、市内を500mメッシュに区分した地盤変状の危険度マップを作成し、耐震化計画の基準策定について検討することにした。地盤変状発生危険度マップ（以下、危険度マップ）の作成手順を以下に示す。

(1) 液状化による危険度マップ

次の①、②の2種類の方法で、液状化の可能性「大」、「いくらかあり」、「なし」の3段階の判定を行った。

①地形分類図による概略危険度マップ

5万分の1の地形分類図により、共同溝設計指針¹⁾の判定基準に準拠して液状化危険度を判定。（「簡易予測法」による判定）

②ボーリングデータによる詳細危険度マップ

地表面での地震加速度を400galとし、建設省北陸地方建設局より入手したボーリングデータ全222本をもとに水道施設耐震工法指針・解説²⁾および東京低地の液状化予測³⁾に示される手法で F_L 値と P_L 値を計算し、表層地盤の F_L 値と P_L 値の両方を考慮して各地点毎の液状化危険度を判定。

(2) 液状化以外による危険度マップ

呉羽山断層、友坂断層の位置をマップ化し、これを含むメッシュを液状化危険度「大」と判定した。

(3) 総合的な危険度マップと判定結果

上記の(1)、(2)を総合的に判定し、最終的な地盤変状危険度マップを作成した。

これにより、市内の約67.7%の地域で地盤変状発生危険度「大」または「いくらかあり」という結果になった。また、南部の台地地区は断層部を除いて地盤変状の発生危険度は低いという判定結果であったが、液状化以外で切土、盛土による造成地や傾斜地では過去に多くの管路被害が発生して

いる事実から、地震時における市内の管路被害危険度は総じて高いものと判定した。

4. 耐震継手SⅡ形ダクトイル鉄管の採用

前述の地盤変状発生危険度を踏まえ、危険度の高い地域から管路の耐震化を図ることとしたが、その後、阪神・淡路大震災で想像を絶する甚大な被害を受けた配水施設などを多くの職員が応急復旧および応急給水活動を通じて目の当たりに体験するという事実もあって、地盤変状発生危険度の判断基準として次のような状況を考慮する必要があった。

①被害危険度の異なるメッシュ毎に耐震性の異なる配水管を使い分ける明確な基準設定が困難であること。

②耐震管以外の配水管を布設する一部地域の住民感情に配慮すべきであること。

③耐震管の採用によるコストアップは、工事費全体で見れば1割増程度であること。

④公共下水道工事等の他工事による布設替え工事が、毎年総配水管延長の5%前後になり、この機会を活用することで漸進的ながら耐震化率の向上が望めること。

したがって、これらの状況判断などを総合的に考慮した結果として、対象とする地域区分や管路の順位付けは行わないことで、平成7年度早期着工工事を除く通常の新設および更新事業から耐震継手SⅡ形ダクトイル鉄管に全面切り替えすることに決定した。

5. NS形ダクトイル鉄管への移行

横須賀市において、平成6年8月から新商品のT形タイプのSⅡ形（以下、NS形という）ダクトイル鉄管を埋立地で採用したとの情報を得たとき、水道管の究極は「これだ」との実感を得たものである。

残念ながら異形管は出現していなかったが、接合はスリップオン機構で、性能・施工性・価格面でメリットが大きいとのキャッチフレーズに一層興味を呼び起こした。

平成7年度当初に行ったSⅡ形管実技講習会で、同時にNS形管のデモを行い、NS形用接合器具（油圧ジャッキ）に難があったものの、施工性の容易さに注目が集まった。このあと、メーカー側の供給体制とその確実性について絶えず情報収集に当たりながら、本格採用に向けた問題点の集約とその打開策の検討を行い、試験採用（老朽管更新事業の一部地域）の結果や他都市の実態を参考に採用方針を決定するため、関係課によるNS形耐震継手採用検討会を設置し、平成9年1月に結果をとりまとめたものが、次に示す内容である。

1. NS形の構造、性能について

- ① 製造される管体は、呼び径75～250mmで、管長は既成の管と同様である。
- ② 継手性能は、SⅡ形と同等である。（表4参照）

表4 NS形ダクタイトイル鉄管の継手性能

継手伸縮量	管長の±1%	(SⅡ形継手と同等)
離脱防止力	$0.3Dt_f$ (D: 管の呼び径mm)	(SⅡ形継手と同等)
許容曲げ角度	4°	(SⅡ形継手と同等)
地震時に曲がり得る最大屈曲角度	8°	(SⅡ形継手と同等)

2. メーカーの供給体制について

- ① 資材の供給は、生産設備が整い、概ね良好な体制が期待できる。
- ② 全国事業者の動向として、大都市を中心に採用する意向が増加傾向にある。
- ③ 他都市の採用動向により、供給体制の見込み違いが危惧される。

3. NS形ダクタイトイル鉄管の優位性、問題点について

- ① 施工上、方締めなどの接合ミスが少なくなる。
- ② 管材費および接合労務費が若干安価になる。
- ③ 異形管の接合はメカニカル形に比べ、細心の注意が必要となるが、高度の技能を要求

- ③ 接合方法は、SⅡ形より簡素である。ただし、専用の接合器具を要するが、特段の問題はない。

図2 SⅡ形ダクタイトイル鉄管の継手構造

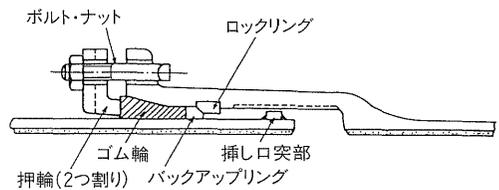
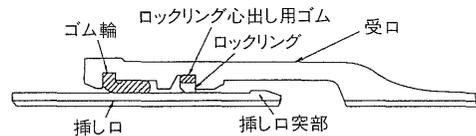


図3 NS形ダクタイトイル鉄管の継手構造



するものでない。

- ④ 最小切管長に制約があり、下水マンホール等他構造物迂回が生ずる場合、曲管選択によっては迂回長が長くなるが止むを得ない。
- ⑤ 挿し口加工用溝切りはSⅡ形用キールカッターの替刃交換を要するが、容易である。

4. その他の考慮

- ① 同一管路における管種は、同一管および同一継手が望ましい。
- ② 切り替えの機会が早ければ、管理上有利である。

これらの結果をもとに、一つには発注サイド

として増大する改良事業の進捗が図れることや接合の均一化が図れること、また、成果品の品質向上が望めること、二つには、業者サイドとして高齢化に有利であること、より慎重さを求める施工は技術力の向上と意識改革が期待できることなどの理由から、NS形継手が優位であるとして、平成9年度よりの採用移行を決定した。

6. NS形ダクティル鉄管の設計と施工

1. 職員および業者への研修

本格採用を検討し始めた段階より、NS形継手への移行に備え、職員・業者に対してNS形継手技術講習会を次の通り開催した。また、

職員についてはNS形管路の設計についても研修を行った。

〈NS形継手技術講習会実績〉

・回数：12回

・延べ参加者数：658名（内業者397名）

なお、すでにT形、SⅡ形継手の実績があるため挿し口加工、継ぎ輪の施工要領、器具の取り扱いなどを中心とした講習会とした。

2. NS形管路の施工実績

今年度当初から移行したNS形ダクティル鉄管の発注実績は次の通りであり、現在、かなりの量がすでに着工されている。

表5 NS形ダクティル鉄管の発注実績

呼び径 (mm)	75	100	150	200	250	計
発注延長 (m)	9,912.5	28,166.3	10,792.2	3,186.5	241.1	52,298.6
発注件数 (件)						122

(平成9年7月末現在)

3. 設計上の問題点

過去には設計担当係、工事担当係という具合に職務を分担していたこともあったが、設計に際し要する現地調査・地元渉外や、設計の狙いを工事に直接反映できる、責任体制が明確になるなど、一貫した流れの方が合理的であるとの観点から、現在、一部特殊な水管橋や構造物を除き、すべて職員が工事の設計から監督までを行っている。

NS形の設計において当初懸念したことは次のような事柄であるが、大勢的にはSⅡ形とは大きな違いがなく、ほぼ円滑な設計業務を成し得たものと考えており、設計面では大きな問題点はなかった。

〈設計における当初の懸念事項〉

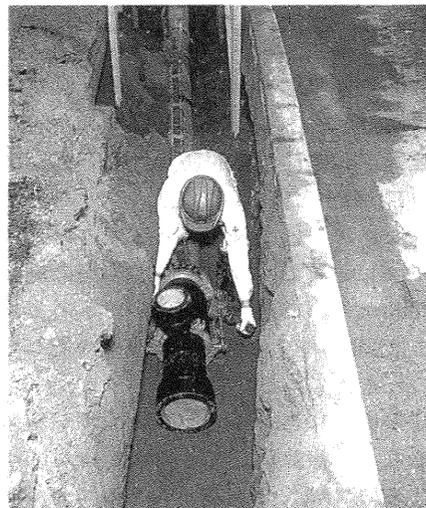
- ①継ぎ輪が高価である。（極力使用せず）
- ②SⅡ形と同様に、乙切管残材の発生量が多くなる。

4. 施工上の問題点（使用の感想）

発注者側としての感想は、NS形への移行決

定までに要した期間が短く、技術の習得や接合器具の準備などやや心配な点もあったが、T形、SⅡ形の実績から業者は順調に対応したものと考えている。

写真 NS形ダクティル鉄管の施工



施工上の問題点としては、下記の事項に留意する必要があるが、改良点として挿入力の軽減に向け、止水性を維持しながらゴム輪を柔らかくできないものかと思っている。

〈施工上の問題点〉

- ①他埋設物に近接する場合や伏せ越しする場合などでは、接合器具の使用が容易でない。
- ②継手の解体が厄介である。
- ③挿し口加工がやや面倒である。

また、当市の発注形態はすべて請負方式の指名競争入札で、入札参加資格業者48社で行

っているが、今年度からNS形（呼び径75～250mm）に移行して約4カ月経過した時点の業者側の反応（アンケート調査実施）は、総合判断として、

- ・「NS形が良い」20%
- ・「一長一短がある」75%
- ・「SⅡ形が良い」5%

の結果が得られた。この中で、SⅡ形と比較して「一長一短がある」とした者が75%を占めているが、その主な理由は次のようなものである。

表6 NS形対SⅡ形の総合判断で「一長一短がある」と答えた人の理由

長所として	短所として
<p>①接合時間が短く、施工が早い。</p> <p>②ボルトがなく、接合部品が少ない。</p> <p>③直管部の布設はスムーズである。</p>	<p>①挿入時の水平確保が必要である。</p> <p>②メカニカル形に比べて、確実性に不安がある。</p> <p>③異形管が固定しにくい。</p> <p>④継手の解体に時間がかかる。</p> <p>⑤栓が抜けない。</p> <p>⑥切管長1mは迂回時に制約がでる。</p> <p>⑦接合器具に砂が着くと取り付けが不十分となる。</p> <p>⑧輻輳管路ではジャッキセットが困難である。</p>

5. 今後の要望事項等

NS形継手は、SⅡ形継手と同等の耐震性能（伸縮性、屈曲性、離脱防止性）と高い水密性能（T形継手と同じ）を有し、かつT形と同様に挿し込むだけで施工が完了するというキャッチフレーズで、地震に強い水道の施設整備が問われている最中に出現したもので、総合的にはSⅡ形継手に遜色ない品質を有しているものと考えている。

実際の施工に当たり、他の埋設物が輻輳しているなど、複雑化してきた現場に対応する際、在来型（A形、K形等）のメカニカル形と

施工面を比較しがちであるが、免震機構としての鎖構造管路を構築するためには、管体重量増加や接合部品などの増加は避けられないものであろう。

しかしながら、離脱防止機構ゆえにSⅡ形と共通する課題もあり、今後の改善点などの要望として、次のような改良点を切に希望するものである。

- ①乙切残管発生防止のため、両受管（短管、異形管）を製作する。
- ②乙切残管処理のため、異形管と乙切管が接続できる継ぎ輪（無伸縮）を開発する。

- ③異形管挿入時の安定性を増し、リングジャッキの操作性を高めるため、異形管の挿し口長 (L₂) を10cm程度長尺にする。
- ④継手の解体に使用する薄板をワンタッチ式に改良して、引き抜きを容易にする。
- ⑤リングジャッキのリングの取り付けを容易にするため、ワンタッチ式 (締付け上部1カ所) に改良する。

7. おわりに

耐震管への採用切り替えは、設計施工体制の確立や施工技術の習得のための職員・業者研修を重ねたことにより、また、平成5年にSⅡ形ダクタイル鉄管を一部採用した実績もあって、ほぼ順調に移行することができたものと考えている。水道施設の耐震化は多くの費用と時間を要するが、コストアップする耐震管は、「安定供給」の面で安心感と信頼性の向上という付加価値をプラスして、トータル的には投資に見合うものと理解をしている。

また、耐震対策は現時点で有効と考えられる施策を、できることから着手していかなければ進まないというのが実感である。

このことにより、現在推進中の第3次配水施

設整備事業が完了する今世紀中には、配水管に占める耐震化率は表7の通りになる。

地震危険度をまったく予知し難い事態に備える水道施設の耐震化は、軟弱地盤での対応はまだしも全市一円での実施に対し、一部でその必要性について疑問視している者も少なくない。しかし、雪国富山における一面銀世界時の被災は、想像の域を脱しないし、経験が物言う時代ではなくなっている現況 (職員の高齢化、在籍の短期化) では、ハード・ソフト面での補完が重要になっている。

経営基盤の安定なくして安全の確保ができないことは十二分に理解できる故に、鶏が先か卵が先かという机上の理論より、まずは血管部に当たる給配水管の耐震化を図ることが、中小事業者にとって手掛けやすい部分でないかと思っている。

耐震化はいわば水道施設の再構築であり、水源の複数化、幹線管路の二重化等のバックアップシステムや大都市で実施している大容量管路など今後めざす施策は数多くあり、なお一層の「安全」を構築していくためのrisk controlの必要性を強く感じている。

表7 第3次配水施設整備事業計画 配水管耐震化率の推移

年度	平成7年度以前	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度
布設延長						
新設延長 (m)	17,200	17,900	22,100	19,000	19,000	14,800
更新延長 (m)	61,100	79,800	80,000	97,400	97,400	129,600
累計 (m)	78,300	176,000	278,100	394,500	510,900	655,300
耐震管の構成比率 (%)	4.2	9.3	14.6	20.5	26.3	33.4

(平成8年度末配水管布設延長=1,884,200m)

参考文献

- 1) 共同溝設計指針、(社)日本道路協会、1989年
- 2) 水道施設耐震工法指針・解説、(社)日本水道協会、1979年
- 3) 東京低地の液状化予測、東京都土木技術研究所、1987年

技術レポート5

US形ダクタイトイル推進管による 長距離推進工事

八戸圏域水道企業団工務部

計画課長補佐 大沢章宏

建設課技査 笹本民也

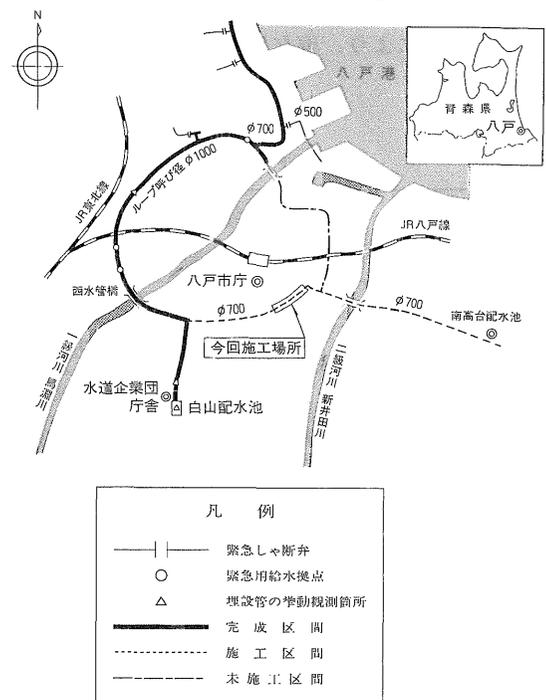
計画課技師 北城祐司

1. はじめに

八戸圏域水道企業団は、その前身である八戸市水道部時代の昭和43年十勝沖地震の被害を教訓として、数々の耐震化を進め、ループ幹線(図1)に昭和49年から全国に先駆けてS形ダクタイトイル鉄管を採用して以来、昭和61年末端給水型広域水道企業団として発足してからもその思想は継承され、その有効性は平成6年12月三陸はるか沖地震において実証された。そして、現在では導送配水管のすべてにS形・SII形等の耐震管を採用している。

今回、ループ幹線の一部となり、かつ、基幹施設である白山浄水場から南高台配水池間を連絡する送水管路の一部を施工するにあたり、交通事情、地下埋設物、土質(地盤)条件などの制約を受けながら、免震管路の特性を継承するための工法を模索した結果、推進工法用ダクタイトイル鉄管(呼び径800mm US形)による最長248.0mに及ぶ長距離直押し推進工法の採用に至り、施工を行った。

図1 ループ配管構想図



本稿では、それらの採用に至るまでの検討過程、施工実績について報告する。

2. 環境(施工)条件

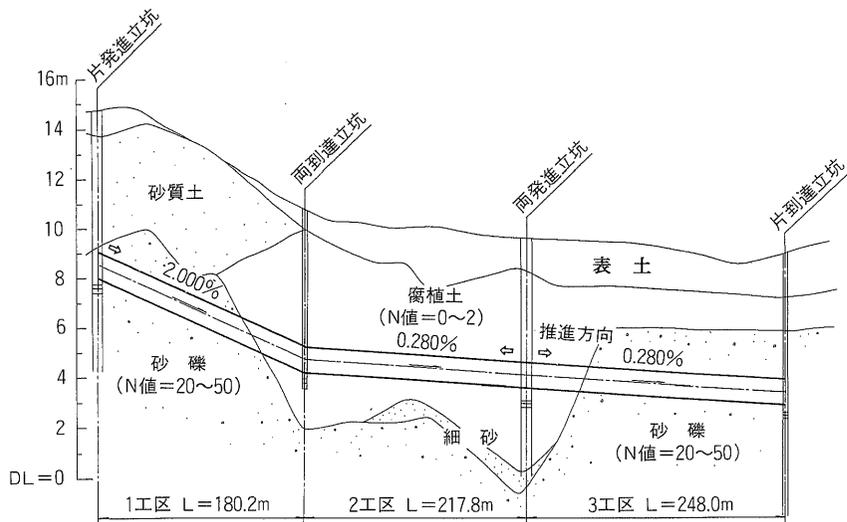
管種、継手、工法などの検討は、下記の施工条件のもとで行った。

- 1) 管路は、呼び径700mmS形ダクトイル鉄管で布設されたループ幹線で、配水池間を結ぶ重要な送水管路であるとともに、災害時には緊急貯水施設の機能を維持すること。
- 2) 市内中心街を東西に通る交通量の非常に多い幹線道路であるため、工事区域は4車

線中、1車線しか占用できない制約があった。

- 3) 上下水道管・ガス管・NTTケーブルなどが輻輳しているため、開削施工は困難である。
- 4) 予定路線の土質は、腐植土層と砂礫層からなり、腐植土層はN値0～2、含水比300～500%で、開削施工の場合、全線にわたり地盤改良などの補助工法を必要とする。また、砂礫層は、N値20～50以上、礫径は5～40mmが主体で、最大礫径は200mmである。(図2)

図2 地層断面図



以上の条件から、全線開削施工、交差点のみの推進工法による施工、全線推進工法による施工などについて検討した結果、開削による近隣家屋の損傷や交通に与える影響が比較的少なく、地下埋設物の下に布設できる推進工法を採用し、地盤が軟弱なため直線推進が可能で、かつ、近隣家屋や地形、交通などを考慮した最大推進可能距離となるように推進立坑位置を決定し、管種、継手などについての検討を行った。

3. 推進の方法および推進管の管種についての検討

- 1) 推進工法用の管種は、推進工法用鉄筋コンクリート管をさや管としてダクトイル鉄管を挿入する方法と、推進工法用ダクトイル鉄管を直押しする方法の2工法で検討した。この2工法を比較すると、さや管方式はより長距離の推進が可能のため立坑数が少なく、交通に与える影響が比較的少ないが、経済比較した場合1.6倍と高価になる

ため直押し方式とした。

- 2) 管路は呼び径700mmS形であるが、US形推進管の最小規格呼び径が800mmであるため、呼び径800mmUS形推進管とし、この管は継手部の曲げ剛性が大きいいため、カーブ推進の採用は困難と判断し、直線形とした。
- 3) 鉛直方向荷重に対する推進管の管厚は、水圧・土圧などの鉛直方向荷重がすべて同時に作用するとした管厚計算式から求め、9.7～9.9mmとなり、4種管 (T=10.0mm) で設計管厚を満たし、推力に対する許容抵抗力は490tfである。推力の安全率を1.25 (許容抵抗力の8割) と設定すると、推力は392tf以内となり、地質によっても異なるが、推進可能距離は233mとなる。そこで、推進距離の長距離化を図るため、また、送水管路の重要性や施工時の安全性を鑑みてグレードをワンランク上げ、3種管 (T=11.0mm) とすると、許容抵抗力は590tfで、安全率を考慮した推力は472tfとなり、計算上、推進距離は282mまで可能となるため、3種管を採用することとした。
- 4) 推進管の管長については、推進工法用ダクタイトル鉄管の規格は6m管と4m管の2種類あるが、最近の推進技術の向上と立坑築造費も加味した経済比較の結果、継手数の少ない6m管を採用した。

以上の検討から、推進工法による施工として、近隣家屋や交通に対する作業ヤードの位置などを考慮し、180.2m、217.8m、248.0mの3スパン、立坑数4カ所の長距離推進とし、使用管種は推進工法用ダクタイトル鉄管と決定した。

4. 継手についての検討

今回、施工を行う管路は呼び径700mmS形によるもので、重要度の高い管路であるため、当初求めた機能は、US形推進用管であってもS形と同様の機能 (伸縮量 管長の±1%) であ

る。しかし、呼び径800mmUS形にその機能を持たせた場合、通常のUS形においてもP寸法がS形と比較し75mm長いものが、さらに管長の2% (120mm) 長くなり、P寸法が525mm必要となり受口形状が巨大化し、管の製造上、精度の確保が非常に難しくなる。そのため、伸縮量は管長の1%とし、その1%の配分について+1% (伸びのみ) と±0.5% (伸び・縮み) の2種類として検討を行った。(図3)

- (1) 管長の+0.5% (伸び) ・ -0.5% (縮み) の伸縮量とした場合の施工性

伸縮量を±0.5%とする場合、推力伝達のためのディスタンスピースを継手部内面に挿入し、ディスタンスピース分の隙間の空く外面には、土砂流入防止装置を設け、-0.5% (縮み) の伸縮量を確保するもので、推進完了後、裏込め注入作業の前にディスタンスピースを撤去する。

- (2) 管長の+1% (伸び) ・ -0% (縮み) の伸縮量とした場合の施工性

通常の施工方法で、推力は外装フランジから受口端面へと伝えられ、(1) のような作業は伴わない。

検討 (1) N値0～2の軟弱層において、地下に堆積しているきわめて含水比の高い腐植土の圧密現象が原因で、管路は平常時でも沈下し、軸方向への抜け出しが生じると考えられる。

検討 (2) 前検討より地震時の伸び余裕量を多く確保するために伸縮量を伸び側の+1%にした場合、圧縮力に対しては管の耐圧縮力で対抗する。この場合、地震時に継手部に作用する圧縮力は地震波の1/4の長さ土の摩擦力に相当し、次式にて計算できる。

$$\text{継手に作用する圧縮力} = foL/4$$

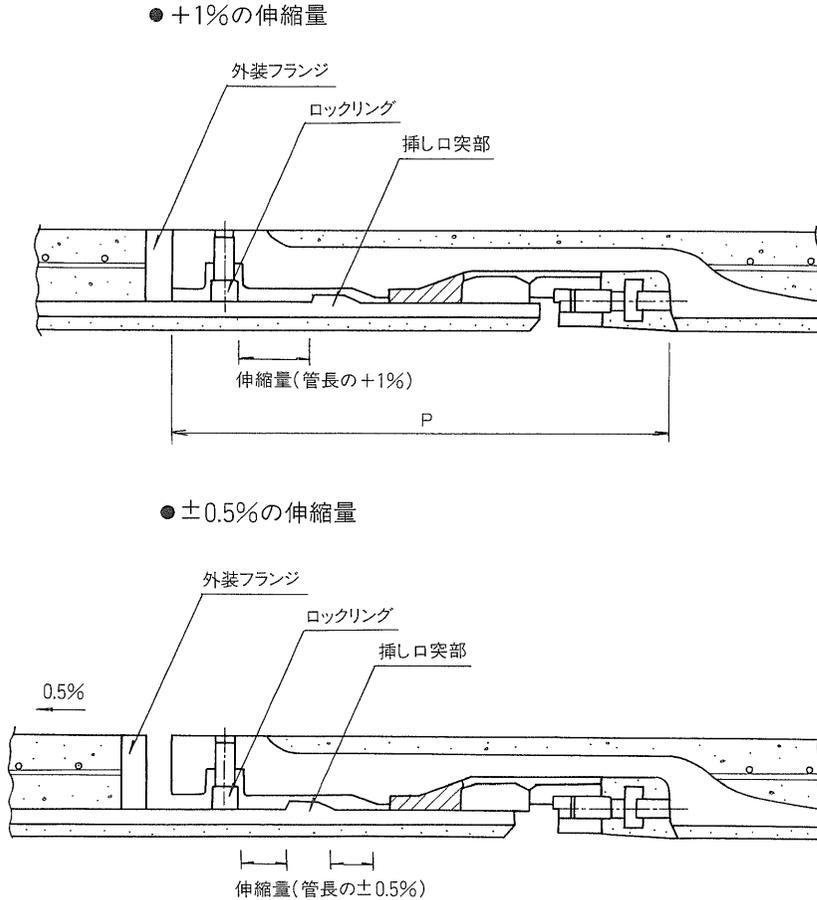
$$= \mu \pi DL/4000$$

$$= 0.075D \text{ (tf)}$$

ただしfo：管1m当たりの管と土の摩擦力

$$(= \mu \pi DL/1000\text{tf})$$

図3 推進工法用US形継ぎ手構造図



μ : 管と土の単位面積当たりの摩擦力
($=1\text{tf}/\text{m}^2$)

L : 地震波の波長 ($=100\text{m}$)

D : 管の呼び径 (mm)

今回用いる推進管は呼び径800mmであるため、最大60tfと計算されるが、3種管の耐圧縮力は、推力に対する許容抵抗力に相当し、590tf ($0.74D\text{tf}$) で約10倍となるため強度上の問題はないと考えられる。

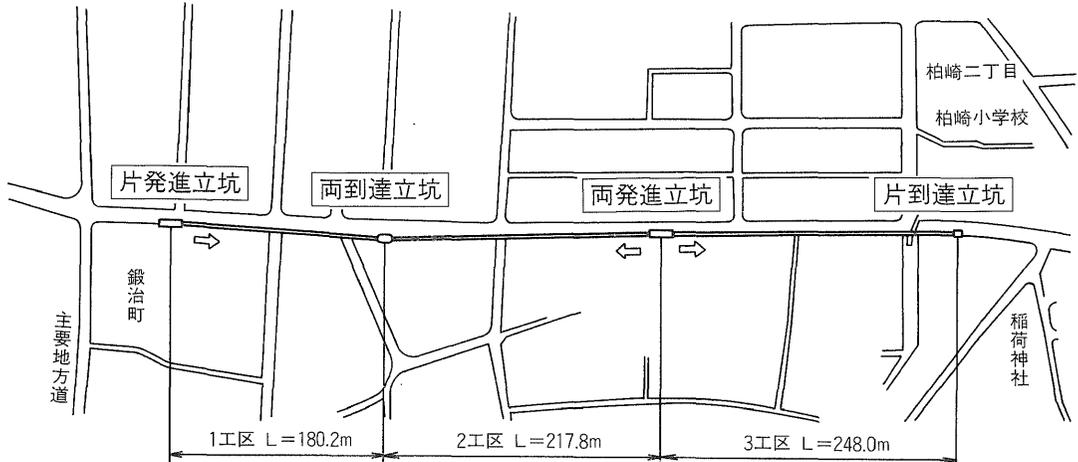
検討 (3) 伸縮量が $\pm 0.5\%$ の場合、推進完

了後、外面の推進用の滑剤をセメント系の裏込め剤に置き換えるが、その際にセメント分が土砂流入防止装置の中に入り込む可能性があり、縮み側の伸縮量が期待できない恐れがある。

以上の検討から、本工事における管継手の伸縮量は、軟弱地盤による管路の沈下・地震時の管路の挙動などを考慮し、管長の+1%、-0% (伸び側のみ) にて施工することとした。

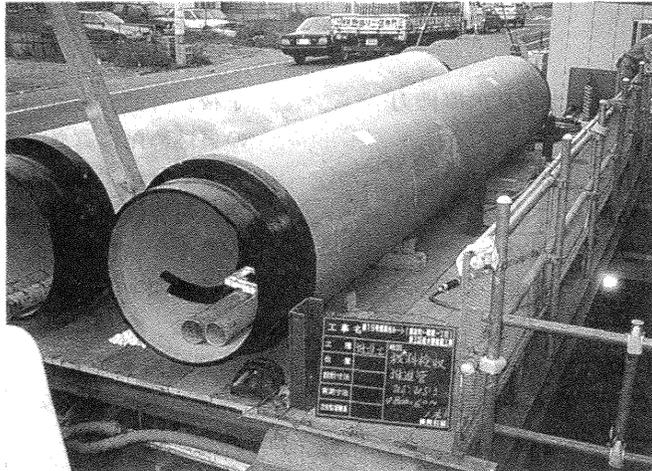
5.工事の概要(図4・平面図)

図4 推進工平面図



- ①工事件名：南高台ルート（鍛冶町～類家一丁目）東工区・西工区送水管推進工事
 ②工事期間：平成8年3月22日～平成9年2月14日
 ③施工箇所：青森県八戸市鍛冶町～類家一丁目 地内
 ④工事内容：泥水加压推進工
 施工延長3スパン646.0m
- (180.2m、217.8m、248.0m)
 立坑 4カ所
 開削工 施工延長246.7m (59.7m、187.0m)
 ⑤使用管種：呼び径800mm推進工用ダクタイトイル鉄管（一部UF形）呼び径700mmS形およびKF形ダクタイトイル鉄管（一部呼び800mm）
 （写真1）

写真1 推進工用ダクタイトイル鉄管US形呼び径800mm



6. 施工

1) 立坑、推進深度および傾斜

立坑、推進深度および傾斜を表1に示す。

立坑設置位置は、軟弱地盤あるいは高地
下水位のため、坑口前面および底盤の地
盤改良を行った。

表1 立坑

	発進立坑	到達立坑	推進深度および傾斜
第1工区	鋼矢板10.0×2.8×7.4m	ライナプレート5.5×3.0×6.6m	5.5～6.2m、2.00%
第2工区	鋼矢板10.8×3.2×6.4m		5.0～5.5m、0.28%
第3工区		鋼矢板3.2×2.8×6.4m	4.5～5.2m、0.28%

2) 推進機

推進機的主要能力を表2に示す。

今回採用した推進機は、1工程の泥水加圧式であるが、前出の土質条件に対応するため礫対応型の掘進機を採用し、下水道管や水路の基礎松杭が予想されたため、流木に対応できるビットを付加し使用した。(写真2、3)

表2 推進機能力

	推進力	最大ストローク	カッタートルク
第1工区	800tf	1.0m	6.7tf-m
第2・3工区	600tf	3.0m	4.2tf-m

写真2 掘進機（腐食土層用カッターヘッド）

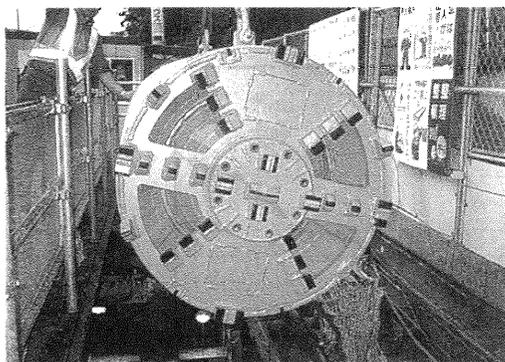
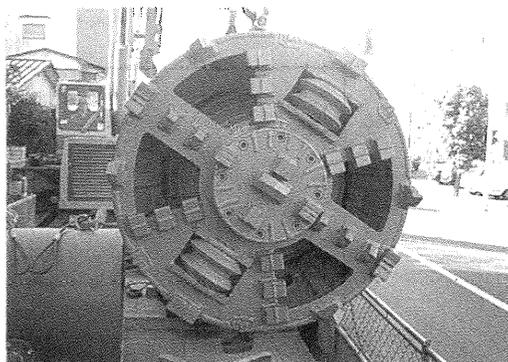


写真3 掘進機（砂礫層用カッターヘッド）



また、本機は下水道推進管用のため、掘進機外周に9mmの鉄板を巻き、US形推進工法用ダクタイトイル鉄管に対応できるように改造した。

3) 推進力および精度

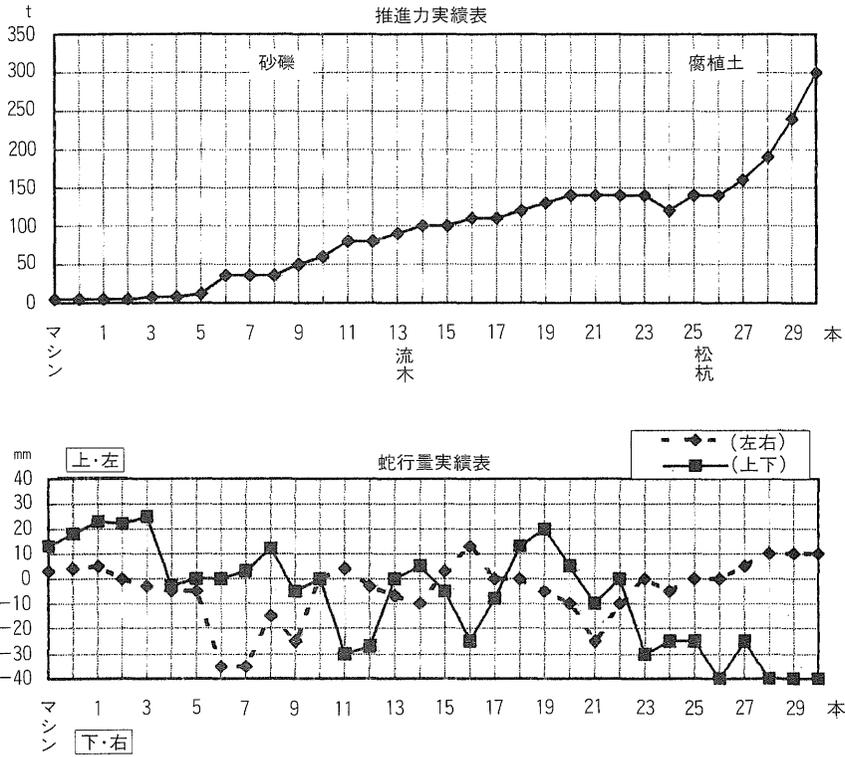
推進力および蛇行量の実績を表3に示す。

①推進力

実績推進力は全体的に計算値を下回る値で推移した。それは、オーバーカッタービットによるオーバーカット（推進管外径973mmに対し掘進機外径1008mm・写真4）と、一液型の高分子溶液の滑剤の積極的な注入の効果があったものと思われる。

表3 推進力実績表蛇行量実績表

1工区



2工区

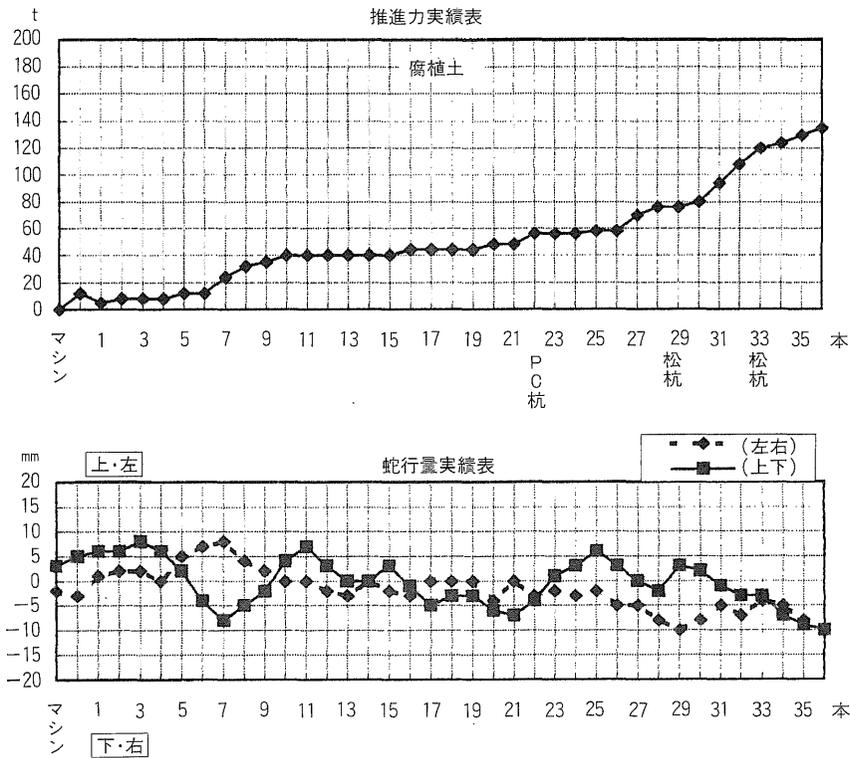
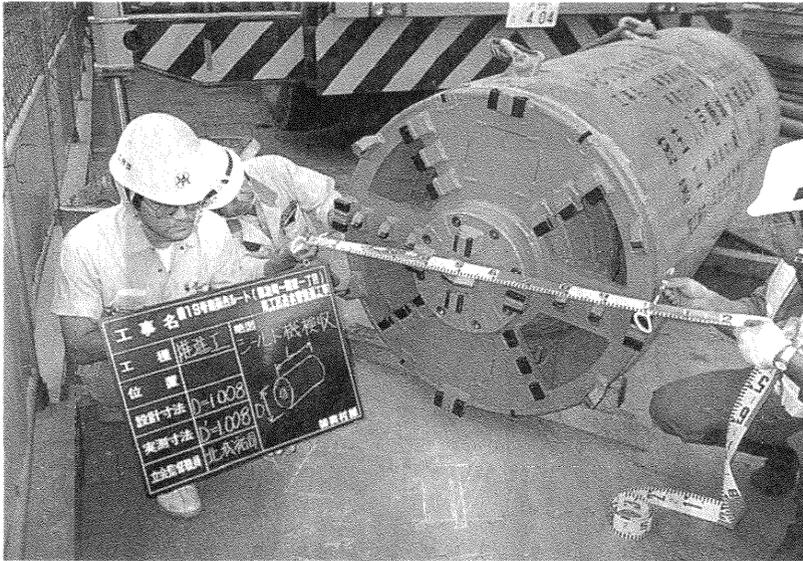


写真4 掘進機（外径呼び径1008mm）



②精 度

今回採用した推進機械は、発進立坑側の中央操作盤にてすべて遠隔制御する方式である。方向の制御は、掘進機後部に設置されたテレビカメラによってテレビモニターに映し出された泥水圧力計などの計器類や発進立坑から推進の中央線に照射されたレーザーがターゲットのどの位置にあたるかを確認しながら行った。また、推進速度、泥水の圧力・流量、滑剤注入などの管理も中央操作盤・油圧ユニットにてすべてリアルタイムで制御することができた。そのことにより、良好な到達精度を得ることができ、心配された両到達立坑内における接続も支障なく行うことができた。

(表4、写真5、6、7、8)

写真5 掘進機据え付け状況

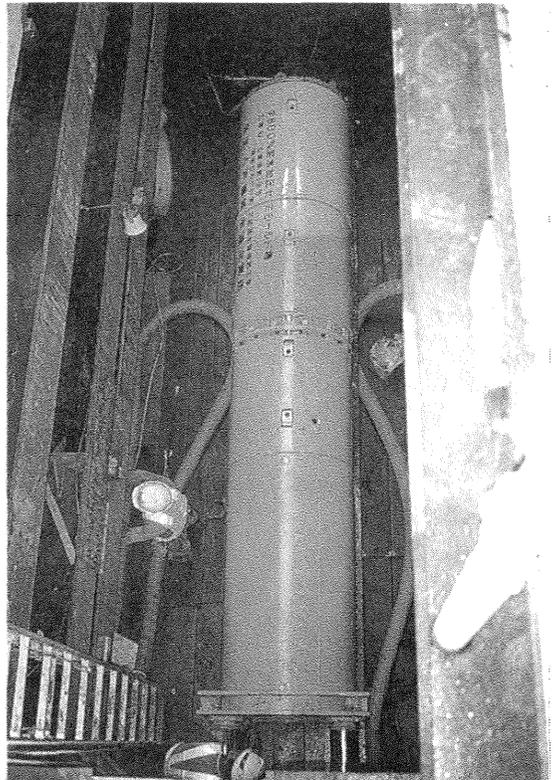


表4 推進力および到達精度実績表

	推進力 (tf)		到達精度 (mm)	
	計算値	実績値	上下	左右
1工区 (180.2m)	344	300	下40	左10
2工区 (217.8m)	445	135	下10	右10
3工区 (248.0m)	417	160	上16	右15

写真6 推進状況

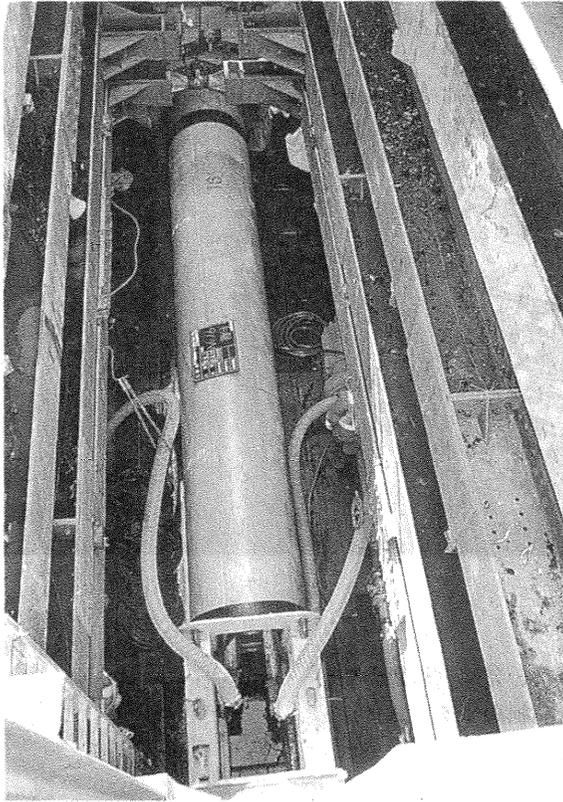


写真7 到達状況（腐食土層側）

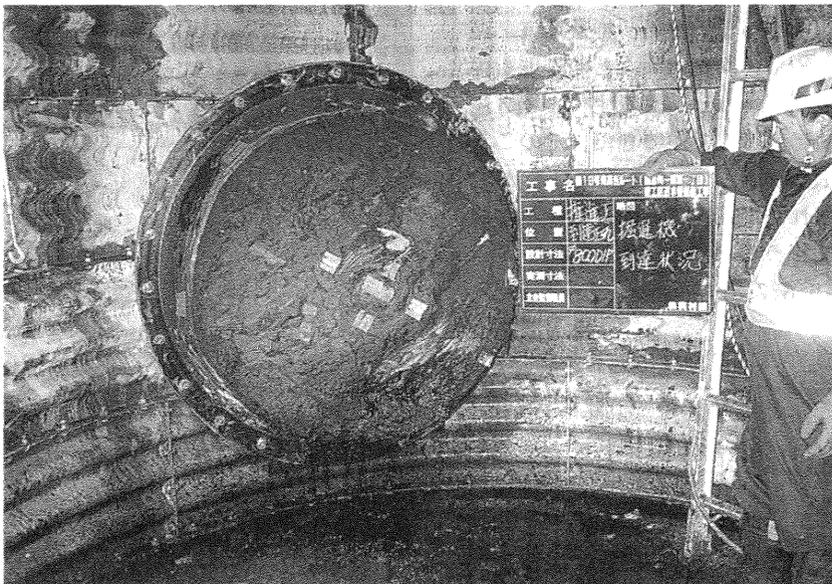
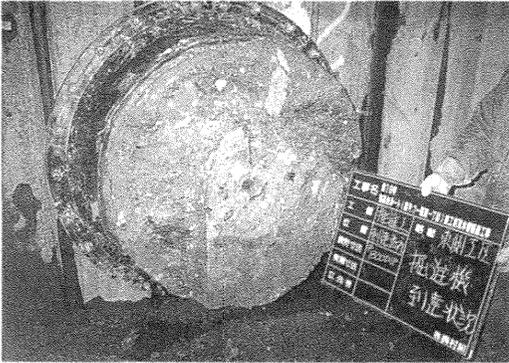


写真8 到達状況（砂礫層側）



③地盤の沈下

推進による地盤沈下の有無の確認のため沈下測量を行ったが、全線にわたり沈下は見られなかった。

7.おわりに

S形鎖構造の管路上で、いかに耐震性を継続させるかという点に重点を置いて検討をし施工を行ったが、全国的に見てもまれなケースで計画の段階から苦慮したが、US形推進工法用ダクトイル鉄管による長距離推進工事は、地元対応、交通事情、軟弱地盤および礫地盤に対応した施工面などにおいて適切な選定であったと思われ、懸念された6m管という通常の推進管よりも長い管による方向修正も特に支障なく行うことができ、施工結果も予想以上の成果を得て無事終了した。

今後、地方都市でも都市化が進み、工事には多種多様な制約が課せられ、施工条件が厳しくなり、今回のような長距離による推進工事が増加すると予想されるが、その際、本報告がなんらかの参考になれば幸いである。

最後に、今回の推進工事を無事故で施工された工事関係者および支障物件の移設など、ご協力いただいた関係各位に感謝する次第である。

技術レポート6

1997年鹿児島県北西部地震における水道管路被害調査結果

日本ダクティル鉄管協会

技術委員 戸島敏雄

〃 大濱博保

〃 金子正吾

〃 一下隆幸

1. はじめに

1997年3月26日午後5時31分、鹿児島県薩摩地方を震源とするマグニチュード6.3の直下型の強い地震があり、鹿児島県川内市、阿久根市、宮之城町で震度5強を観測したほか、九州各地で震度4を観測した。

鹿児島県では、気象庁の震度計とは別に科学技術庁と協力して前年9月に本格稼働した“震度情報ネットワーク”により、県内96市町村すべての役場の敷地などに震度計を設置している¹⁾。このうち、鶴田町では震度6強、阿久根市と東郷町で震度6弱を記録した。

約2ヵ月後の1997年5月13日午後2時38分にも、同じく鹿児島県薩摩地方を震源とするマグニチュード6.2の同様の地震があり、川内市で震度6弱、宮之城町で震度5強、阿久根市で震度5弱を観測したほか、九州各地で震度4を観測した。

この報告は、各々の地震発生の数日後から

現地で水道管路の被害状況および被害地点の地形、地盤の亀裂状況など、地盤変状について調査した内容をまとめたものである。

2. 地震の概要

鹿児島県北西部地震および鹿児島県第二北西部地震の概要を表1に示す。

気象庁による、鹿児島県北西部地震における各地の震度を図1に、鹿児島県第二北西部地震における各地の震度を図2に示す。

科学技術庁防災科学技術研究所の強震計データ (K-NET) による、川内市および宮之城町での時刻歴加速度波形を図3に示す。最大加速度は鹿児島県北西部地震においては宮之城町で493gal (東西方向)、鹿児島県第二北西部地震においては同じく宮之城町で901gal (東西方向) が記録された。

表1 地震の概要

		鹿児島県北西部地震	鹿児島県第二北西部地震
発生日時		1997年3月26日 午後5:31	1997年5月13日 午後2:38
震源地		鹿児島県北西部(東経130.3°、北緯32.0°付近)	鹿児島県北西部(東経130.3°、北緯31.9°付近)
震源深さ		約20km	約8km
マグニチュード(M)		6.3	6.2
各地の震度	震度6弱	—	川内市
	震度5強	川内市、阿久根市、宮之城町	宮之城町
	震度5弱	—	阿久根市
	震度4	鹿児島市、枕崎市、大口市、隼人町、小浜町、熊本市、八代市、人吉市、牛深市、芦北町、松橋町、大矢野町、都城市	鹿児島市、枕崎市、大口市、隼人町、八代市、人吉市、芦北町、大矢野町、都城市

(気象庁発表)

図1 鹿児島県北西部地震(3月26日)における各地の震度(気象庁発表)



図2 鹿児島県第二北西部地震(5月13日)における各地の震度(気象庁発表)

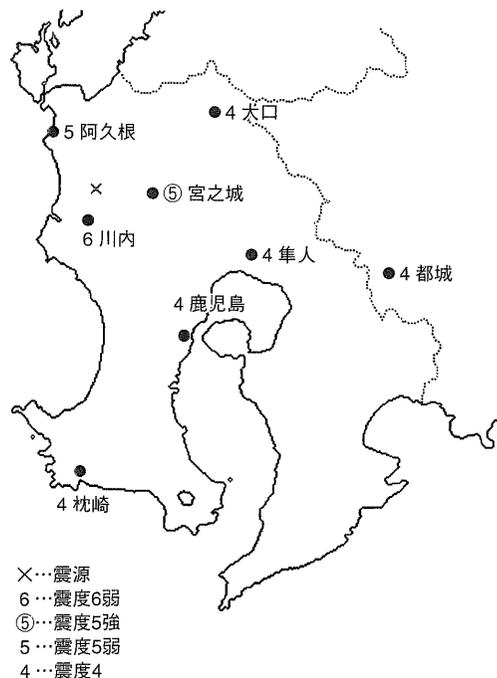


図3 時刻歴加速度波形（科学技術庁防災科学技術研究所の強震計データ（K-NET））

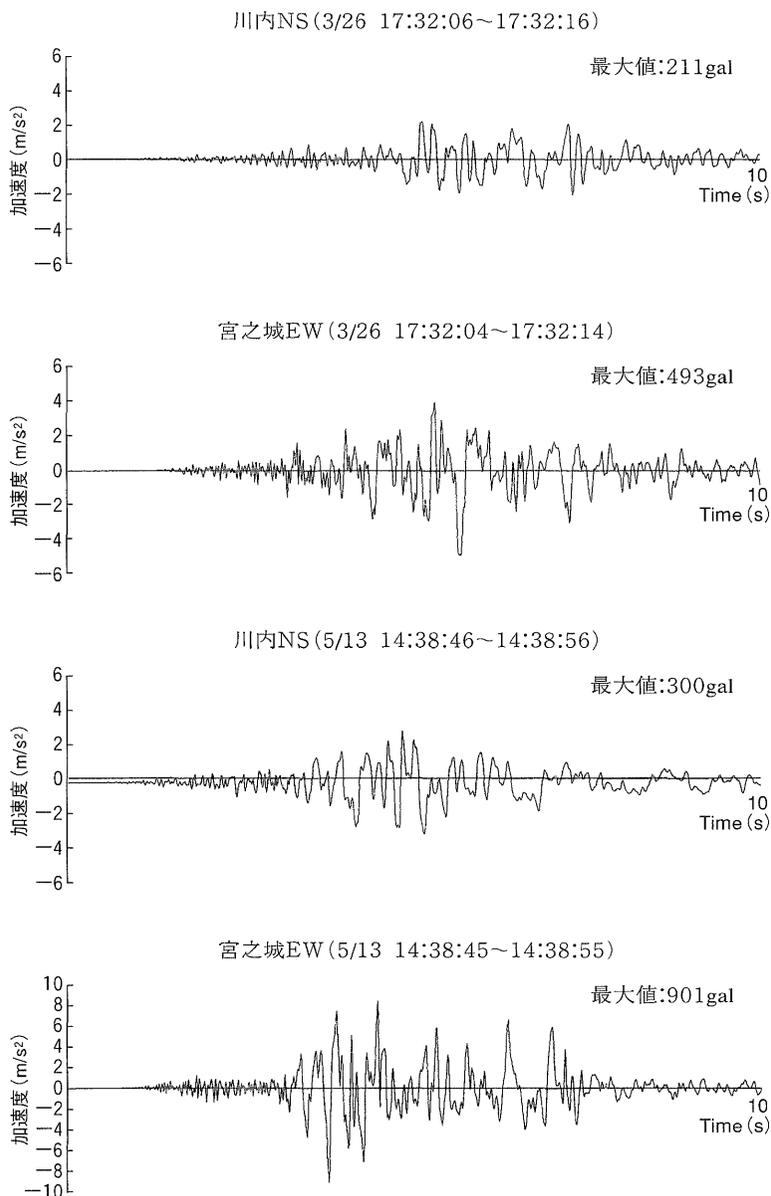


表2 水道事業の概要

(平成6年現在)

3. 水道施設の概要

調査は、水道管路の被害が多く発生した川内市、宮之城町、鶴田町の3市町で実施した。3市町の水道事業の概要を表2に、管種別管路延長を表3に示す。

事業体	給水人口(人)	平均給水量(m ³ /日)
川内市	50,777	17,261
宮之城町	14,098	3,554
鶴田町	4,335	1,300

(出典：1995年版「水道年鑑」、水道産業新聞社発行)

表3 管種別管路延長

(単位 km)

管種 事業体	鋳鉄管 (CIP)	ダクタイル鉄管 (DIP)	鋼管 (SP)	石綿セメント管 (ACP)	硬質塩化ビニル管 (VP)	合計
川内市	18.8	44.9	3.3	12.3	244.7	324.1
宮之城町	2.1	3.0	7.6	3.8	51.1	67.5
鶴田町	0.0	0.3	0.9	6.9	63.7	71.8

(注) SGPも布設されているが、延長距離は不明
 (出典：平成7年度版「鹿児島県の水道 平成6年水道統計調査」、鹿児島県水道協会発行)
 *鶴田町は平成8年現在の値。同町水道課による。

4. 水道管路の被害状況

3市町の管種別被害件数および管種別平均被害率を表4に示す。また、管路の被害状況を写真1

～3に示す。管種ごとの被害形態別被害件数を表5に、管種、呼び径別被害件数を表6に示す。

表4 管種別被害件数・平均被害率

事業体	管種	鹿児島県北西部地震(3月26日)		鹿児島県第二北西部地震(5月13日)	
		件数	平均被害率(件/km)	件数	平均被害率(件/km)
川内市	DIP	0	0	0	0
	CIP	0	0	0	0
	ACP	2	0.162	1	0.081
	SGP	0	—	1	—
	SP	1	0.303	2	0.606
	VP	1	0.004	8	0.033
	その他	1	—	0	—
	計	5	0.015	12	0.037
宮之城町	DIP	0	0	0	0
	CIP	0	0	0	0
	ACP	3	0.789	1	0.263
	SGP	0	—	0	—
	SP	3	0.395	0	0
	VP	3	0.059	10	0.196
	その他	2	—	0	—
	計	11	0.163	11	0.163
鶴田町	DIP	0	0	0	0
	CIP	—	—	—	—
	ACP	9	1.304	1	0.145
	SGP	1	—	0	—
	SP	1	1.111	1	1.111
	VP	8	0.126	1	0.016
	その他	2	—	0	—
	計	21	0.292	3	0.042

(注) 被害件数が極端に少ない項の平均被害率は参考程度に考えるのがよい。

表5 管種・被害形態別被害件数

被害形態	鹿児島県北西部地震						鹿児島県第二北西部地震					
	ACP	SGP	SP	VP	その他	合計	ACP	SGP	SP	VP	その他	合計
継手部抜け	5	1	—	7	1	14	—	—	3	5	—	8
継手損傷	4	—	1	3	1	9	1	—	—	11	—	12
継手部漏水	4	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	0
ネジ部破損	—	—	2	—	—	2	—	1	—	—	—	1
管体破損	—	—	—	—	—	0	2	—	—	—	—	2
その他	—	—	2	1	1	4	—	—	—	1	—	1
詳細不明	1	—	—	1	2	4	—	—	—	2	—	2
合計	14	1	5	12	5	37	3	1	3	19	0	26

表6 管種・呼び径別被害件数

管種	鹿児島県北西部地震						鹿児島県第二北西部地震						
	呼び径	～50	～100	～150	200～	その他	合計	～50	～100	～150	200～	その他	合計
ACP		2	5	7	—	—	14	—	2	—	1	—	3
SGP		—	—	1	—	—	1	—	1	—	—	—	1
SP		—	1	3	1	—	5	—	—	1	2	—	3
VP		7	3	2	—	—	12	13	3	2	—	1	19
その他		—	—	—	—	5	5	—	—	—	—	—	0
合計		9	9	13	1	5	37	13	6	3	3	1	26

写真1 管路の被害状況例(1)
 (鹿児島県北西部地震)
 (VPφ50×φ40 片落管継手損傷、
 図4—No.①地点)



写真2 管路の被害状況例(2)
 (鹿児島県第二北西部地震)
 (SGPφ100 ネジ継手部破損、
 図4—No.⑦地点)



写真3 管路の被害状況例 (3)
 (鹿児島県第二北西部地震)
 (ACP φ200 継手破損、宮之城町内)



(1) 鹿児島県北西部地震 (3月26日)

- ① 川内市で5件、宮之城町で11件、鶴田町で21件、計37件の管路被害が発生した。
- ② 3市町を合計すると、管路被害は石綿セメント管 (ACP) が14件ともっとも多く、次に硬質塩化ビニル管 (VP) が12件と多かった。また、ダクタイル鉄管 (DIP) および鋳鉄管 (CIP) には被害は発生していなかった。なお、ダクタイル鉄管の継手はA形継手であった。

③ 被害の大きかったACPでは、継手部抜けが5件、継手損傷が4件、継手部漏水が4件であった。

④ VPでは、継手部抜けが7件、継手損傷が3件であった。

(2) 鹿児島県第二北西部地震 (5月13日)

- ① 川内市で12件、宮之城町で11件、鶴田町で3件、計26計の管路被害が発生した。
- ② 3市町を合計すると、管路被害はVPが19件ともっとも多かった。鹿児島県北西部地震と同様、DIPおよびCIPには被害は発生していなかった。
- ③ VPの被害形態は、継手損傷が11件、継手部抜けが5件であった。

5. 地盤変状と管路被害との関係

川内市、宮之城町、鶴田町の各中心部での被害地点を図4～6に示す。また、管路被害地点での地形、地盤変状の調査結果例を表7に示す。表中の調査地点No.は、図4～6の被害地点の番号に対応している。また、管路被害地点での地表面の亀裂および地表面の地盤変状の状況例を写真4、5に示す。

図4 川内市中心部の被害地点

(●…北西部地震による被害、▲…第二北西部地震による被害)



図5 宮之城町中心部の被害地点

(●…北西部地震による被害、▲…第二北西部地震による被害)



図6 鶴田町中心部の被害地点

(●…北西部地震による被害、▲…第二北西部地震による被害)

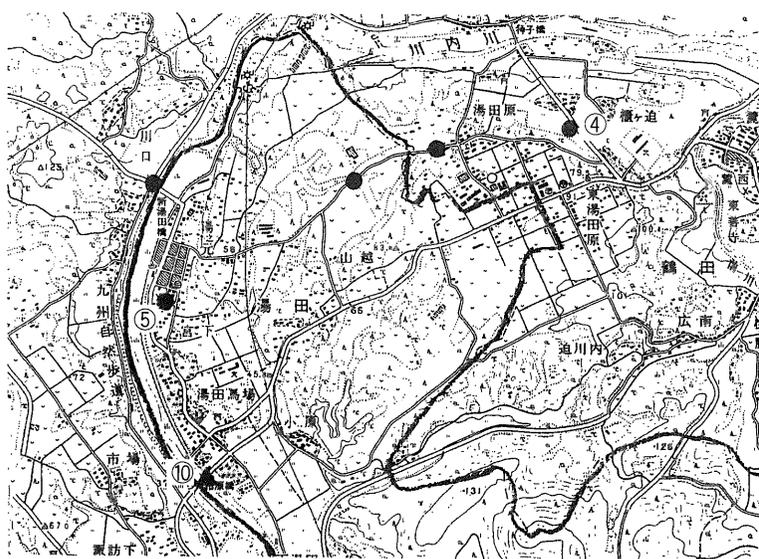


表7 管路被害地点での地形・地盤変状の調査結果例

(鹿児島県北西部地震)

調査地点No	被害管路	地形等の状況	地盤変状等の状況
①	VP φ50	平坦地盤	地盤沈下 40mm × 被害箇所 (VPφ50×φ40片落管損傷)
②	SP φ150	橋梁	地盤傾斜3° 道路 橋 × 被害箇所 (エルボR部き裂)
③	ACP φ75	平坦地盤	30mm 50mm 平坦地盤 × 被害箇所 (TS継手損傷)
④	ACP φ100	傾斜地盤	2mm 2mm 2mm 地盤傾斜2° × 被害箇所 (継手部漏水)
⑤	VP φ50	平坦地盤	地盤沈下 10mm 100mm × 被害箇所 (詳細不明)

(鹿児島県第二北西部地震)

調査地点No	被害管路	地形等の状況	地盤変状等の状況
⑥	SP φ200	橋梁	道路 橋 × 被害箇所 (継手抜け)
⑦	SGP φ100	傾斜地盤	地盤傾斜3° × 被害箇所 (ネジ部破損)
⑧	VP φ20	傾斜地盤	地盤傾斜2° 5mm 5mm × 被害箇所 (継手損傷) ※130mmの地盤沈下あり
⑨	VP φ20	傾斜地盤	被害箇所 (SPとVPのつなぎ目折傷) 5mm 5mm × 被害箇所 地盤傾斜2° 地盤傾斜15°
⑩	SP φ150	橋梁	道路 橋 × 被害箇所 (継手抜け)

写真4 平坦地盤の亀裂、地盤沈下例（鹿児島県北西部地震）（図6—No.⑤地点）

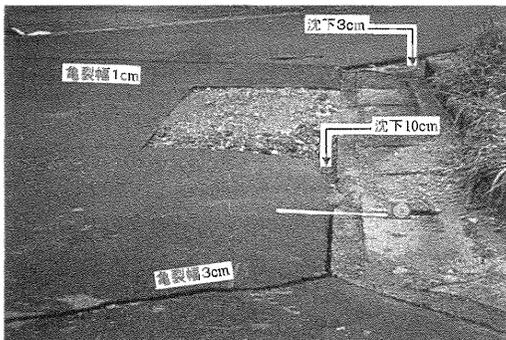


写真5 傾斜地盤の亀裂例（鹿児島県第二北西部地震）（図5—No.⑧地点）



- ① 表7には平坦地盤において地盤沈下が発生した場所について示したが、これ以外に地盤沈下が発生せずに管路被害が生じたものも多く見られた（23件）。
- ② 橋梁の添架管の被害は川内市で3件、宮之城町と鶴田町で1件ずつ生じた。被害形態は、いずれの場合も道路と橋の接合部近傍の継手の抜けや損傷などにより漏水が発生したものであった。
- ③ 表8に、参考までに被害地点の地盤最大亀裂幅と被害件数をまとめたものを示す。表7では、比較的地盤変状の大きかった例について示したが、管路被害発生地点の最大亀裂は5cm、最大地盤沈下量は13cmとそう大きくなく、ほとんどの被害地点では道路に亀裂は見られなかった。両方の地震において、地表面に亀裂が見られなかった場所での管路被害は全体で22件、管種別に見るとACPで7件、VPで9件であった。

表8 被害地点の地盤最大亀裂幅と被害件数

管種	地盤最大亀裂幅						被害件数					
	なし	1~4mm	5~9mm	10mm~	不明	合計	なし	1~4mm	5~9mm	10mm~	不明	合計
ACP	5	2	2	—	5	14	2	—	1	—	—	3
SGP	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—	1
SP	2	1	—	1	1	5	3	—	—	—	—	3
VP	1	—	2	2	7	12	8	1	1	7	2	19
その他	—	1	1	—	3	5	—	—	—	—	—	0
合計	8	4	5	3	17	37	14	1	2	7	2	26

6. おわりに

以上、1997年鹿児島県北西部地震および鹿児島県第二北西部地震による川内市、宮之城町、鶴田町の水道管路被害調査結果を示した。

この調査にあたり、川内市水道局、宮之城町水道課、鶴田町水道課の方々には大変お世話になりました。この紙面を借りて厚くお礼を申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 松森泰造ほか：鹿児島県北西部地震調査報告、地震工学振興会ニュース、No.154、12～16頁、1997

対談

地球は生きている

水と熱との出遭いー温泉そのメカニズム





● インタビュアー

佐藤 由美(さとう・ゆみ)

(大分放送アナウンス部キャスター)

大分県出身

立教女学院短期大学英語科卒業後、大分放送入社後、TBS「朝のホットライン」「ザ・ウェーブ」などの中継を担当。現在、「OBCニュースライン」のキャスターのほか、ラジオの電リク「ナウナウ大行進」「ビバ・タカラジェンヌイン大分」「私の作文」「ラジオ童話」などで幅広い分野で活躍中。大の海外旅行好きだが、仕事柄情報収集はお手のもので、旅行前からいろんな本を買い込んで読み漁り、現地に着いたときにはまるでその土地を何度も訪れたことのあるかのように歩き回る。

今、一番のお気に入りにはアメリカ・ラスベガスとか。



● ゲスト

由佐 悠紀(ゆさ・ゆうき)

(京都大学理学部地球熱学研究施設長・教授)

昭和16年1月1日生まれ 長崎県出身

昭和39年3月京都大学理学部地球物理学科卒業

昭和41年3月同大学院理学研究科修士課程修了

昭和41年5月京都大学地球物理学研究施設に奉職

51年理学博士、62年同大学教授、現在に至る

自宅にひいた温泉で研究の疲れを癒す一方、地酒を一献傾けながら読書するのが毎日の楽しみとか。

「南極ビクトリアランドの塩湖の水温について」「地熱環境下における地下水流動の数値実験－ポテンシアル流と熱対流の競合－」「地熱流体系の形成」「温泉の起源－塩素の起源に関して－」「反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造」など論文は100編に及ぶ。

日本では25度以上で温泉という

佐藤 本日は地球の内部という私たちには非常に見えにくいんですが、生活に大変大きな影響を及ぼしている「自然」に対する研究を続けていらっしゃる京都大学の由佐教授に、さまざまな地球の活動についてお伺いしたいと思います。どうぞよろしくお願いたします。

さて、別府は温泉地として全国のみなさんによく知られています。大分県は温泉の湧出量が日本一です。このように温泉が豊富に出る土地というのは、地下の内部がそれだけ活発に活動している

ということなんですか。

由佐 そういうことですね。地球的に見ますと、温泉活動は広い範囲にあるんですが、分布を描いてみると、どこにでもあるというわけではなく、大体決まっているんです。地図を思い浮かべていただければわかりだと思えますが、世界的にはニューギニアから北上してインドネシア、フィリピンを通り、南西諸島を経て日本、千島列島、アリューシャン、北米の西海岸、さらには南米・西海岸へとつながる環太平洋地域。そしてインドネシアからヒマラヤを横切りトルコ、アルプスの南側などと、陸地での分布は大体決まっています。



佐藤 なぜ、日本の中でも特に九州一円に地熱温泉群が多いんでしょうか。

由佐 九州一円は確かにそうなんですけど、もっとグローバルにいいますと、なぜ火山活動、地熱温泉活動、さらに地震活動が多いかということを含めてなんですけど、地球上に満遍なくどこにでもあるというわけではありません。たとえば、環太平洋地域を中心とした特定の地域に偏在しており、その典型的な場所のひとつが、日本列島であり、九州なんです。

佐藤 地球の活動にはいろいろあるわけですが、やはり別府という土地柄、温泉のお話からさせていただきたいと思います。

私たちは日頃から温泉という言葉に対して、親しみと憧れをもっているんですが、どのようなものが温泉かと聞かれると返答に困ってしまいます。どのような定義づけがされるんでしょうか。

由佐 自然科学的にいうと、温泉とは読んで字のごとく、温かい水が自然に湧き出てくる泉のことなんですけど、温かいという線引きをどこからにするのが非常にむづかしい問題です。

佐藤 どこからといいますと……

由佐 たとえば温度的に何度以上を温泉といえいいのか。いろんな人がこれまで定義をしようとしたんですが、なかなかうまくいかないんですね。自然科学的にはその土地の平均気温よりも温かい泉で、日射で温められていないもの。つまり地下の熱源によって温められたものを温泉といえがいいんです。ところが特に日本人は日常生活で温泉と密接に結びついていますので、経済価値が出てくるわけですね。ですからそういった定義をしてみると、北海道の温泉と九州の温泉では違ってくるんですよ。

佐藤 平均気温がずい分違いますね。

由佐 日本の温泉には経済価値が生じてきますので、そのような定義づけでは、その土地土地で混乱を生じます。たとえば南極のある場所では平均気温がマイナス20度くらいですから、0度の水があれば温泉になってしまう。世界各国でも困りまして、最終的には法律で決めてしまったんですね。日本の場合も温泉法というのがありまして、それで決められているんです。

佐藤 温泉法ですか。それは知りませんでしたけど、どのように定められているんですか。

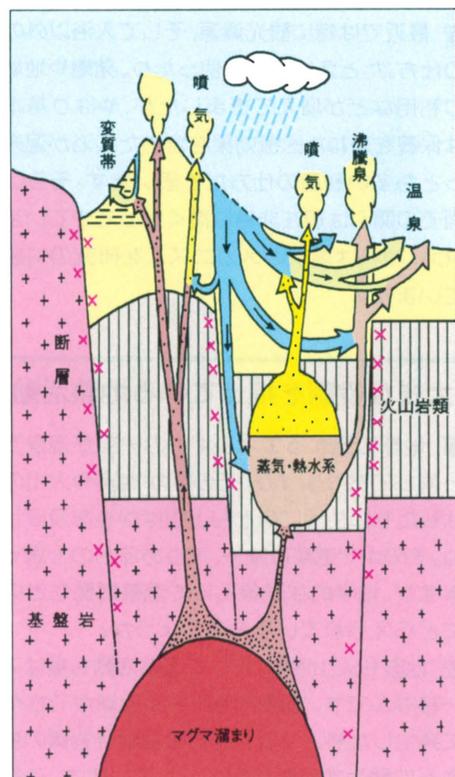
由佐 日本では、泉や井戸の出口で25度以上の温度があれば温泉といっているんです。ところが、最近ではあちこちで新しい温泉が増えているでしょう。そういった新しい温泉では、25度以下のものも結構多いんです。実際の温泉法は二本立てになっておりまして、温度と含まれる化学成分によって決められています。

佐藤 大分にも温度が低い冷泉というものがありますよね。

由佐 温度が低くても、法律で決めた濃度よりも高い、あるいはなにか特殊な成分を基準以上含んでいれば温泉とみなされるわけです。さらに水だけでなく、ガスでもかまわないんです。だから火山の噴煙は法律的には温泉なんです。爆発して蒸気が上がると、温泉と見なされるわけです。

そのように、温泉は通常の社会的な意味では法律

図1 温泉形成のモデル



で決めているんですね。

佐藤 昔から洋の東西を問わず、医療的な効能が注目されていますが、なんととっても別府を訪れる方は入浴、保養を目的とされているようです。いつ頃から温泉が利用され始めてきたのでしょうか。

由佐 温泉と人間との関わりは意外に古くて、今まで世界中にいろいろな民族が現れましたが、一般的には、温泉をよく好んだのは日本人と古代ローマ人だといわれています。

しかし、いろいろな記録を見ますと、ヨーロッパでもローマ人以前の世界で、すでに温泉がかなり利用されていたようです。温泉の神様が存在していたほどで、薬理効果のあるものとして利用されていました。東洋においても、中国でかなり古い時代から温泉が利用されており、やはり医療効果を目的としていました。洋の東西を問わず、温泉が人間と関わりあってきたのは、今もそうなのですが、保養とか医療の面が大きかったようですね。

佐藤 また、違った面での利用もされていると聞いておりますが、どのような利用方法があるのでしょうか。

由佐 最近では特に観光資源、そして入浴以外の利用の仕方。たとえば農業に使ったり、発電や地域暖房の利用などが増えてきましたが、やはり基本的には保養を兼ねた医療効果を含めた入浴が温泉のもっとも多い利用の仕方だと思います。そういった面での関心は現在非常に高くなってきていますが、われわれは温泉のメカニズムを研究の対象としています。

大きな役割を担っている地熱活動

佐藤 地球の発するエネルギーの一部が温泉であると同っておりますが、そのほか地震や火山の活動は私たちの生活にほとんど害ばかりを及ぼしますね。その中で温泉は唯一、実りあるものと思っておりますが、地学的な現象として温泉活動をどのようにとらえられているのでしょうか。

由佐 地震も火山活動、そして温泉活動も根はみんな一緒なんです。地球の内部には地球ができたときに発生した熱とウランなどの放射性物質の崩壊によって発生する熱が蓄えられています。これが

蓄えられているだけでなく温度の低い方に流れ、最終的には宇宙空間に出ていくわけです。つまり地球内部にある熱、そして現在発生しつつある熱は、いろいろな形態で宇宙空間へ放出されています。このエネルギーを発散させるプロセスでいろんな現象が起こるんです。

火山噴火、地震活動、そして温泉もすべてエネルギーの発散過程で現れる現象なんです。そうした放出には激しいものと緩やかなものがあります。もっとも安定したゆっくりしたものが、普通いわれる地殻熱流という温度勾配に従って熱が流れていく発散の仕方です。地球内部の熱の発散は大部分がそれらのものです。

残りのほんの僅かなものが、地震、火山噴火、温泉として放出されているわけです。ところがこれらは地殻熱流と比べて、非常に激しくダイナミックな動きです。その激しさにもそれぞれ度合いがありまして、火山噴火や地震はより激しいため、災害に結びついてきます。それに比べると温泉は、比較的穏やかで、われわれはある程度コントロールできますので、今日利用できているわけです。

佐藤 よく自然の脅威という言葉が使われますが、地球から発散されるエネルギーというのは凄い量なんですよね。

表1 地球表面から発散するエネルギー
(下鶴(1968)に基づく)

過程	エネルギー(W)
地殻熱流	3.0×10^{13}
地震活動	1.2×10^{10}
火山活動	1.2×10^{10}
温泉活動	1.2×10^{10}

表2 日本列島から発散するエネルギー
(湯原ら(1981)に基づく)

過程	エネルギー(W)
地殻熱流	2.3×10^{10}
地震活動	0.6×10^9
火山活動	7.6×10^9
地熱・温泉活動	5.7×10^9

注1) 地熱・温泉活動には、このほかに地熱発電の熱(4.0×10^9 W)がある。
注2) 日本列島周辺まで含めると、地震活動のエネルギーは上記の値の2.5倍程度になる。



由佐 これまでに公表されている統計によりますと、地震も火山活動も地熱温泉現象も、それぞれが出すエネルギーは、ほぼ同じなんです。このうち、火山や地震は災害を起こしますから、調査は比較的進んでいますので、それらのデータはまあ信頼できると思います。しかし地熱温泉というのは、社会的インパクトがないものですから、調査されないまま人知れずそのままというのが、かなり多いわけですね。また、それに加えて最近では、海底での熱水の湧出も見つかっていますので、そういったものを足し合わせると、どうも水の関わりあった現象、地熱温泉現象が出すエネルギーというのは、これまで考えられていたものより遥かに大きい。そうすると、地球全体のダイナミックな動きの中で、地熱活動、温泉活動が果たしてる役割は非常に大きいんじゃないかと考えられます。

佐藤 その温泉活動を地学的な現象面からお聞きしたいんですが、実は私、温泉現象というのは火山現象のひとつだと思っていましたが、そうではないんですね。

由佐 いえ、そう考えてもいいんですよ。ひとつの熱的現象と考えると同じ根のものなんですね。

佐藤 最近、温泉が増えてきているというお話がありましたけど、必ずしも火山のある所から温泉が出るわけではないんですか。

由佐 その通りです。先ほどの定義からしますと、火山の熱源、すなわちマグマで温まっていなくても、一定の条件を満たしていれば温泉といえるわけです。ですから普通は火山に関係のない非火山性の温泉と火山性の温泉とに大きく分けているんです。

佐藤 非火山性の温泉はどのような所にあるんでしょうか。

由佐 この近くですと、今まで温泉がないといわれていた大分市や庄内町で、温泉が開発されています。この地域は火山地帯の縁辺部ではあるんですが、火山帯そのものからは離れていますので、熱源は直接火山活動とは関係ないんです。ですからこういった温泉は非火山性の温泉なんです。

佐藤 非火山性の温泉はどのようにしてできるんでしょうか。

由佐 地球の内部には熱が蓄えられており、また、

熱が発生しておりますから、当然のことですが、地球の内部に入っていくと温度が上がっていくわけです。地球の表面近くでは、全世界的な平均値では1 Km深くなると、およそ30度温度が上がることになっていますが、火山地帯の近くでは温度の上がり方も大きくて、1 Kmで50~60度上がる所もあります。

火山地帯でない所でも2,000m掘れば、60度上がる計算になりますので、そこに水が溜まっていれば、温泉になります。ですから特に火山活動に関係なくても、そういう水を汲み上げれば、温泉と同じことになるわけです。これが非火山性温泉と呼ばれるものなんです。

佐藤 ということは、水が蓄えられる所であればいいわけですね。

由佐 そういうことになりますね。地学的にいきますと、堆積層、土砂が積もっていくときに、一緒に水も閉じ込めていく所。たとえば盆地などですね。基盤岩が深く沈み込んでいて、土砂が堆積している所に非火山性温泉がある確率が高く、岩盤地帯にはまずありません。

佐藤 逆に火山性の温泉は火山地帯にあるわけですが、どのような特徴をもっているんですか。

由佐 規模が大きくて、熱量が大きい温泉はすべてが火山性温泉で、活発な温泉地帯は火山地帯と重なっています。そういった意味で、火山活動のひとつの形態の現れという見方もできるわけです。

佐藤 いずれにしても、温泉は水との関わりが非常に大切になってくるんですね。

由佐 そうですね。最初の定義で、温泉は普通の水だけでなく火山の噴気などもそうだと申しましたが、要するに蒸気、つまり水の存在が必要条件となってきます。地殻熱流、火山活動、地震は必ずしも水を伴っていませんが、唯一、温泉活動だけは常に水を伴っています。温泉活動の非常に重要なポイントは熱と水が関わり合うことで、これが特徴なんです。

佐藤 水と地熱が巡り会う地点というのは、どれくらいの深さなんでしょうか。

由佐 これは大きな問題で、今のところよくわからないんです。あくまでも推定ですが、別府の場合では5~6 Kmかなと考えています。これからの研

究のテーマのひとつとして、天水が一体どのあたりまで到達することができるのかという問題があります。これは将来の課題だと思います。もちろん最近の技術では5 Kmの井戸を掘れないことはありませんが、非常にむづかしいことなんです。

佐藤 調べる方法はあるのでしょうか。

由佐 有力な方法としては、たとえば地震の観測だと思います。こういう地熱地帯ですと、小規模な地震がしょっちゅう起こっているんですが、地震が発生しない空白地域というのがあるんですね。そういった所は熱現象と関わりがあるだろうという予測がありますから、地下の流体の存在の深さが推定できるかもしれません。

やはり地球は生きている

佐藤 地球内部のマグマの活動は、人間だけでなく、あらゆる生物に関わり合っているように思いますが、このマグマは地球ができたときからあるんでしょうね。

由佐 そのようにいわれていますが、地球創世時の

マグマは一般的にいわれているものとは違っていたようです。火山活動に関連しているマグマは地球規模から見ると、ごく浅い所で発生したものです。地球の内核は固体といわれており、外核は液体金属だといわれています。その上に厚い岩石の層、マントルがあるんです。そしてマグマが発生するのは、マントルの上部、地殻よりもちょっと深い箇所です。そんなに深い所にはありません。だから普通の状態では固体です。

環太平洋のプレートの話になりますが、プレートが沈み込んで、プレート上面で固体であった岩石が溶けてマグマの素ができる仕組みになりますので、地球全体がドロドロに溶けていた頃のイメージのものとは全然違うんです。

佐藤 やはり地球は生きているんですね。

由佐 生物学的な意味とは全然違いますが、生きているんでしょうね。

佐藤 別府と大分とは距離的に非常に近いですね。どうして2つのタイプの温泉が形成されるのでしょうか。



● 岩石の成分を分析する蛍光X線分析装置



● 岩石中の鉱物を分析するX線回折装置



由佐 たとえばこのあたりにある岩石は200万年前以降のもので、多くは100万年以降と考えていいと思うんですが、佐賀関半島にいきますと、数千万年前、あるいはそれより古い時代の岩石です。距離的には少ししか離れていないんですけども……。

佐藤 どうしてそんなに違うんですか。

由佐 陸地を作っている基盤の地層は、中生代とか古生代の古い地層です。そうした古い地層を載せている大陸プレートの下に海洋プレートが潜り込みますと、その作用で大陸プレートの一部は分断され広がっていきます。そのため、古い基盤の地層は沈み込みます。一方、潜り込むプレートの上面ではマグマが発生します。それが火山の噴火によって地表に噴き出しますと、新しい地層が出現します。別府から九重・阿蘇を経て雲仙に至る中部九州は、まさにそのような場所なんですね。中でも、国東半島から佐賀関半島の間は、古い地層から新しい地層までいろいろ見ることのできる地球上でも典型的な地域だと思えますね。

佐藤 火山がある所にはどこにでも温泉があるんですか。

由佐 必ずしもそうではありません。やはり水が大きく関わってきます。巨視的に見ますと、比較的新しい火山活動のある所に活発な地熱活動域、温泉活動域が存在します。ところが一個一個の火山で見ると、そうとはいえない面があります。その代表的な例が富士山なんです。温泉地として知られる箱根がすぐ近くにありますが、富士山に関わっている所には温泉がありません。さらに北海道の蝦夷富士・羊蹄山の周りにも、鹿児島県開聞岳周辺にも温泉はないんです。これらの山はすべて新しい火山で、地下には熱源が残っていると考えられますが、温泉活動はなさそうですね。

この対極的な例が別府です。鶴見岳の周りには活発な温泉がありますし、九重山の周りや雲仙もそうですね。また、本州では箱根がそうですね、東北地方では八幡平などに温泉が存在します。山の姿を思い浮かべると、非常に違ってきますね。

佐藤 どのように違うんでしょうか。

由佐 温泉が出ないとされている山々は、格好よくて美しいでしょう。

佐藤 いわれてみれば、そうですね。

由佐 一方、壊れた形をした山の側には温泉があるんです。これが特徴なんです。

佐藤 壊れた山には温泉があるということは、壊れていることに意味があるんですか。

由佐 富士山はご承知のように非常に大きい山なんですけど、測定した例によると、降った雨の3分の1ほどは蒸発し、残りの3分の2が表流水や地下水となるといわれています。富士山では、山麓地帯でほとんどすべての水が冷泉となって湧き出して、川となって流れてしまうわけですよ。言い換えますと、地下には熱源があるはずですが、地下深くまで水が入っていけない地層になっていると考えられます。

これには温泉の源となる水が、どこからきたのかという大きなテーマが関連してくるわけです。以前、温泉の水の中には、地球の内部から初めて出てきたような水がかなりあるんじゃないかと考えられていました。しかし最近の数十年間の研究では、ほとんどすべての水は天水、すなわち雨水であることがわかってきました。ですから温泉となって出てくるためには、雨水が地中深くまで浸み込んで、熱源に出会ってそして出てくるという構造をしていないと温泉地は発達しないんです。

山の格好が美しいということは、山ができてから壊れていないということの意味します。壊れていないということは、水が深く浸み込んでいく水の道ができていないということになるわけです。それに対して、鶴見岳などは山が壊れていて、天水が深くまで入り込み、また、循環して出てくることのできる仕組みになっているわけですね。

佐藤 温泉は湧き出るものですから、いつか涸れてなくなってしまうんじゃないかと思っていましたが、今のお話からしますと、そうではない……。

由佐 半永久的に使えるはずのものですね。それに対して、非火山性の温泉は閉じ込められた水ですから、限りがあると考えべきなんですね。火山活動のない古い地域でも、温泉が形成される構造をして水が閉じ込められていれば、非火山性の温泉がとれます。これは世界的にも利用されていて、フランスではパリ盆地、ハンガリーなどでは盛んに暖房などで利用されています。

泉質の種類は元素同士の混ざり合いで決まる

佐藤 別府温泉は火山性温泉で、泉源が豊かだといわれていますが、泉質も非常に多いのが特徴とされています。どれくらいの泉質があるのでしょうか。

由佐 数え方にもよりますが、放射能泉以外は全部あるといわれています。

佐藤 何種類になるんですか。

由佐 分類をすると物凄い数になりますよ。ただし基本的にはそんなに多くはありません。基本的には塩化物泉、塩素イオンを主体とするもの。そして炭酸系、普通は重炭酸、炭酸水素イオンといっているものを主体とするもの。それから硫酸イオンを主体とするもの。大体この3つがベースとなっています。

これらに結びついてくる陽イオンがいろんな種類のものがありまして、さらにそれが混ざり合い

ますと、また違ったバリエーションが出てきます。ですから細かく分けると凄い数になるわけです。

佐藤 よく単純泉という言葉を使いますが、これはどのようなものなのでしょうか。

由佐 全体の温度は高いんですが、化学成分の濃度が低いものをいいます。単純泉はよく見かけますね。

佐藤 では、基本となる3つの種類の水はどのようにしてできるのでしょうか。

由佐 水そのものは天水ですよね。ところが温泉の中にはいろいろな化学成分が含まれています。天水にはほとんどなにも含まれていないのに、温泉になるとなぜそうなるのか、ということでしょうね。

佐藤 不思議ですね。

由佐 地下の深い所まで水が入っていくんですが、地下に残っている熱源、マグマみたいなものからは熱が地層を通して伝導してきます。また、マグマが冷え固まっていくとき、あるいは温かい状態の



●湯の花小屋



●湯の花

とき、熱だけでなくいろんな物質が放出されています。いわゆる火山ガスと呼ばれるもので、大部分は水蒸気と考えられていますが、そのほかに塩化水素や亜硫酸ガス、硫化水素、炭酸ガスなどをかなり含んでいます。そういったものが、浸透してくる水に混合されるわけです。

それらの物質の中で一番水に溶けやすいものは

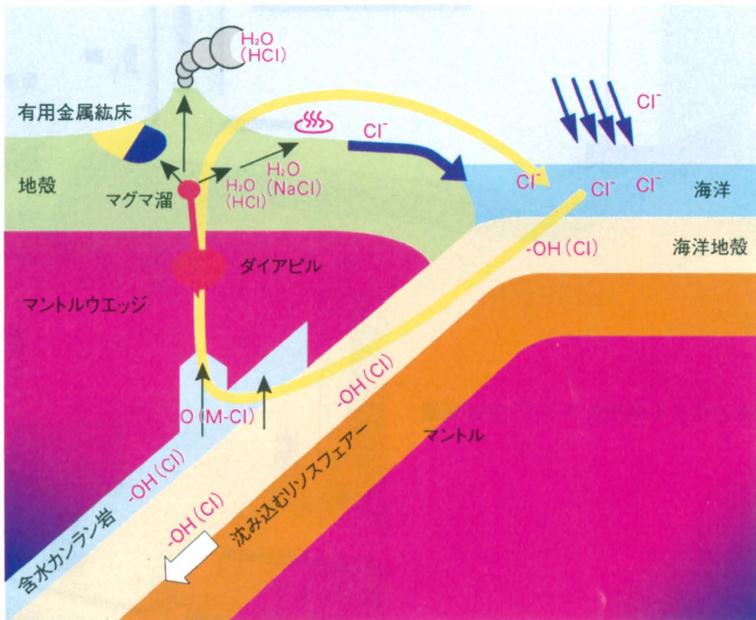
塩化水素で、これがまず水に溶けてしまいます。これはかなり強い酸性の水ですから、周辺にある岩石と化学反応を起こし、選択的にナトリウムイオンやカルシウム、マグネシウムなどの金属イオンを溶かし出します。強い酸性だった水が反応して、徐々に中和されて中性の熱水に変わるわけです。

そのときに塩素イオンの相手方のイオンの代表的なものがナトリウムイオンで、ナトリウムイオン類を選択的に溶かし出していく。したがって、Na-Cl型(塩化ナトリウム)の食塩を溶かしたような熱水ができるわけです。

佐藤 海水と似たような成分になっているんでしょうか。

由佐 最初この温泉が見つかったときには、海水ではないかといわれていた時代がありましたが、海水の成分とはかなり違います。そのNa-Cl型の中性の熱水の中には、化学反応を起こしていないガスが高圧の状態で溶け込んでいるんです。たとえば炭酸ガス、硫化水素などを含んだNa-Cl型の熱水ができあがります。これは、別府、九重だけで

図2 海域—陸域間の塩素循環



なく日本全国の火山地域の近くで存在することがわかってきました。さらに日本だけでなく、火山活動が活発な環太平洋地域などでもNa-Cl型の熱水が満遍なくあるんです。

ですからこういう温泉活動の源となっている熱水は地球共通の組成をもっていて、食塩型の熱水になっているわけです。

その食塩型の熱水の中にガス成分が溶け込んで流動して浅い所にくると、圧力が下がりますので、沸騰して蒸気と熱水に分離します。そして蒸気の方にガス成分が移り、さらに地表に向かって上がっていきます。

佐藤 地獄巡りなどで見られるのは、その現象と考

えていいんでしょうか。

由佐 別府では地獄巡りの地帯で噴出しているわけなんです。この地獄地帯にも、天水や地下水がありますので、さらに混合されて、硫化水素は地下水や空気中に含まれている酸素で酸化されて、硫酸になるわけです。そして炭酸ガスが多い場合は、水に溶けて炭酸になってしまいます。したがって、もともとの温泉の水はNa-Cl型ですが、浅い所に上がってくると、蒸気と熱水に分離しますので、蒸気の方からまた、別の硫酸型や炭酸型の熱水ができるわけです。

また、一方では、上昇してきたNa-Cl型の水も低地に向かって流れていきます。結局のところ、



● 温泉水の化学物質を分析する高周波プラズマ分析装置



● 火山ガスや温泉ガスを分析するガスクロマトグラフ



山の上では硫酸型、炭酸型の水ができて、比較的低い所ではNa-Cl型の水が流れてきます。それがずっと流れていきますと、混ざり合いますので、いろんな種類の温泉ができてあがるということになります。このような現象を別府では非常にシステムティックに見ることができるんです。

佐藤 どのようにですか。

由佐 つまり温泉の分布を見ていると、温泉のシステムが理論通り形成されているのが、わかる分布になっているんです。逆に今みたいなモデルは、別府を見ているからできたような気がしますね。

佐藤 こちらの地球物理学研究所が別府に造らしたのは、そういうことを見越してのことだったん

でしょうか。

由佐 最初は、ここが大きな温泉地で火山活動が活発な所だということで作られたかもしれませんが、地熱温泉の研究にはまさにピッタリの土地だったわけですね。



● 血の池地獄



● 竜巻地獄

源泉説明
 一定の時間をかけて噴出
 霧道は地下水の圧と蒸騰
 考ると考えられます。地
 熱水150℃が上昇してきて
 上昇しA日部の温泉
 度が高くなりA日間の水
 れは酸化現象を起し上部
 は爆発的に旺盛となります
 減少し空洞の圧力が下り
 有名な間歇泉は、米国の
 プライスラント、ニューシラ
 湖の短点では、当前地
 るところでございます。
 主人敬白
 休止時間 約25-30分
 噴出時間 約5分
 日噴出量 300Kℓ
 温度 105度
 別府 全資地熱研究所

「見えない部分を見る」方法を探る

佐藤 地震や火山活動が発生した場合、私たち報道関係者はすぐにこちらにきてお話を伺いますが、ここでは主にどういった研究をされているのでしょうか。

由佐 流体の方から見た温泉の生成機構、今まで申し上げてきたようなことをやってきましたが、温泉現象をより深く理解していくためには、温泉の水や蒸気そのものだけを見ていては限界があります。そこで最近、対象が段々と広がり、熱をもたらすもの、あるいは物質をもたらすものは一体なんであろうかということまで踏み込んでいます。このため地球熱学研究施設と名前も変えたわけです。つまり火山活動も今までの火山というのは、噴火や地震ばかりみていたんですが、火山活動にも流体が関わってきている。そうすると、そうい

った一面だけを見てみると、火山活動の本質は分からない。総合的に見ていかなくてはいけないということだと思いますね。

佐藤 一般的には地球の表面にあることの研究は可能であると思いますが、内部を研究するのは奥深くてむつかしいように考えてしまいます。具体的にはどういった形で研究を進められているのでしょうか。

由佐 見えない部分を見る方法は、ないことはないんです。実際あるんです。たとえば別府では今まで流体を中心に研究してきましたが、ガスの中にも先ほど申し上げたガス以外に地下の深い所からヘリウムガスやアルゴン、チッソガスなどが上がってきています。その中には化学反応をなかなか起こさないガスがあるんです。ヘリウム、チッソやアルゴンは上がってくる途中であまり化学反応を起こしません。見方を変えると、それらのガスは地下



● 白池地獄



の深い所の情報を持って上がってきている可能性が高いわけです。これらの物質を分析し、解析をする技術、手段が発達してくれば、そのガスを研究することによって、深い所の様子を垣間見ることができる可能性があるわけです。

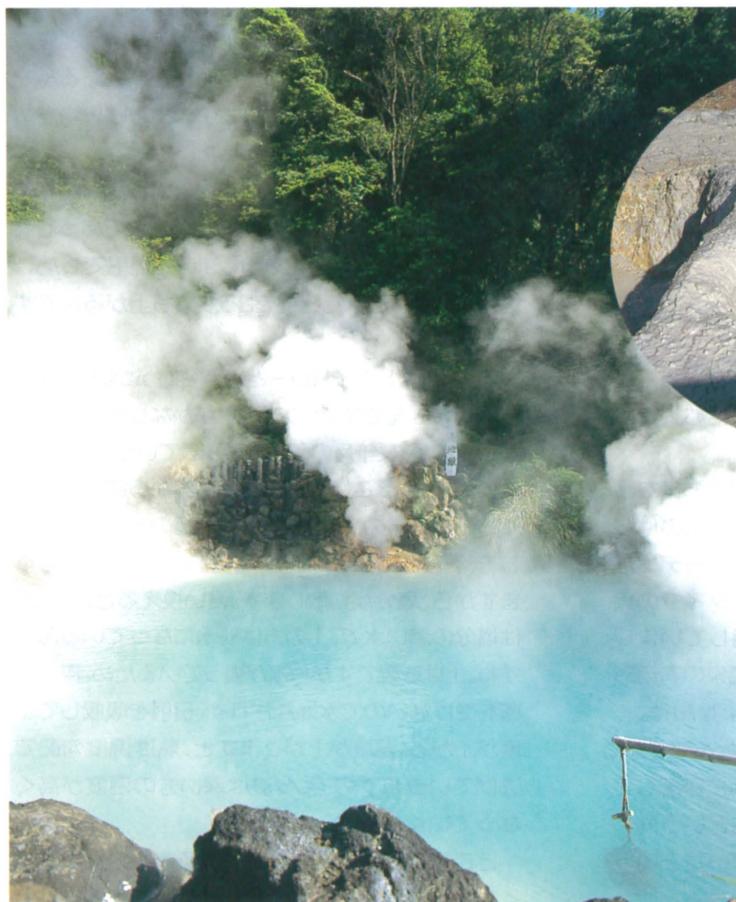
最近では機器類も発達してきましたので、それが可能になってきました。たとえばヘリウムの場合、普通は質量数は4ですが、質量数が3のヘリウムもあります。この同位体の割合が深い所の情報をもってきているらしいのですが、機器の進歩によって、その測定がずいぶん容易になり、そんな研究もできるようになってきました。

さらに水の分野においても、天水であるということも、水分子を構成している水素原子と酸素原子の同位体の比を調べることによって、それがわかってきました。やはり研究の手段がかなり発展してきて、なんとかできるんですね。もちろんほかに

も水の存在のあり方は、地震波の特性を見たり、あるいは電気的、磁気的な調査をすることによって、推定することが可能となりました。見ようとする、なんとなく見えてくるものなんです。

佐藤 今、地震のお話が出ましたのでお聞きしたいんですが、過去に何百万年前に地震があったから、そろそろ危ない時期であると学者の方々がいわれることがあります。何百万年前のことをどのような方法で調べることが可能なのでしょうか。

由佐 地質学の時代感覚では、ダイナミックな動きが関わってくるのは、今から200万年前の第四紀以降のことです。たとえば地震の場合ですと、私は専門家ではありませんが、物が壊れた、地層が壊れたときに発生する波が地震であって、壊れた跡が断層です。ですから断層を見ると、過去に地震がいつ起こったかが、断層の動いた歴史をすべてではありませんが見ることができるわけです。



● 海地獄



● 坊主地獄

年代の測定方法は近年特に発達してきており、昔はいつ頃ぐらいと大ざっぱなことしかいえませんが、最近ですと何万年前とか十万年前とか、誤差はありますが、ある程度のことは調べることができるようになりました。

佐藤 その誤差というのは、どれくらいのものなんですか。地球の誕生から計算した年数的感覚か生活的感覚の中の誤差から考えたものなんですか。

由佐 ある断層が今から1万年前に動いたとしますね。その誤差はプラスマイナス何百年といわれています。これは地学的現象にすれば大したことではないんですが、生活的感覚からすると1年、10年の誤差は大変なことになるでしょう。われわれの感覚と自然現象に対するわれわれの理解の能力とはそぐわないんです。そこまではまだ進歩していないのが現状です。

研究には長年月が必要

佐藤 そういった面ではまだまだ地球の内部は現代の私たちにとっては、未知のものだなという気がしますね。

ところで先生は温泉にはよく入られるんですか。別府では家に温泉をひいておられる方が多いですよ。

由佐 毎日入ってます。気分的にリフレッシュできていいですね。

佐藤 外国の方が日本にきて、温泉に必ず入るといいますが、地球上には温泉のない所に住む人がたくさんおられるわけですね。

由佐 先ほど非火山性温泉、火山性温泉のお話をしましたが、ヨーロッパの人が出会っているのは多くが非火山性の温泉なんです。有名なバーデンバーデンなどは飲むための温泉で、日本タイプの火山性の温泉は、ローマの人たちが利用していました。そういった面では、日本のような温泉の利用形態は世界的にみると珍しいかもしれませんね。

佐藤 文化として日本では温泉が栄えたんですか。

由佐 そういう見方がありますね。生活に密着して日本人の好む要素をもっていた。入浴という同じ目的で、それが国民の生活の中に根づいたというのは非常に少ないと思いますね。

佐藤 肩まで湯船につかるというのは、確かに日本人だけのようなようです。韓国の方が最近温泉によく入られているようですが、韓国にも温泉があるんですか。

由佐 最近、特に熱心開発されているようです。この前送られてきた韓国の温泉の雑誌によりますと、毎日毎日温泉ができていくような感じですね。

佐藤 まさに温泉ラッシュですね。今度私どもでも取材しなければいけませんね……。海外といえますと、先生は南極に行かれたとお聞きしましたが……。

由佐 南極の湖で温泉が見つかったという非常に興味深い話がありまして、調査に出かけました。もう、25年以上も昔のことです。

湖の表面には3~5mの氷が張っているんですが、その下には深さ80mほどの水があり、この湖の底の温度が25度を超えていました。当初これには2つの説がありまして、ひとつは熱水が湧き出しているという説。南極は環太平洋火山地震帯のちょうど底にあたるので、確かに火山活動が現在もあるんです。われわれの行った地域も古い火山の噴火物があり、火山活動を裏づけていました。

もうひとつは、日射ではないかという説なんです。私の予想というか希望では、地熱活動であって欲しかったんですが、結論を申しますと日射でした。

佐藤 南極あたりで日射で25度にも上がるんですか。

由佐 そこはドライバレーという名前がついており、乾燥地帯なんです。かつては水がかなりあったようなんですが、長年月のうちに蒸発して行って、塩分が底に溜まり、そこに今から1000年から2000年前ぐらいに気候の変動が起こり、周辺の氷河が溶け出して、溜まったようでした。溜まると下に塩分がありますから、塩分が拡散します。言い換えると、底の方は塩分の濃い水で、上の方は淡水になっているんですね。上は低温ですから氷が張っているため、風の影響を受けないので水は乱されず、日射を吸収して温度が上がる。温度が上がりますと、熱は温度勾配で逃げていきますので、今度は深い方の温度が高くなっていくんです。

ところが普通は温度が高くなると水の比重が軽くなりますから、水は対流を起こしてひっくり返



り、温度はあまり高くないはず。ところが底の方の塩分濃度が高いものですから、ひっくり返らなかったんです。それで長い年月をかけて、25度まで温度が上がったわけです。

佐藤 地熱活動ではなくて残念でしたが、まさに自然の神秘の世界といえますね。

研究というのは地球の起源から考えると、ずいぶん遠くなるような感じがします。そういった面を考えますと、学者のみなさんが研究されている年月というのは点にもならない時間で、まだまだ研究には長い時間がかかるという気がしますが……。

由佐 どの分野もそうだと思うんですが、ひとつの問題が解決すると、その先にはまた新たな問題が必ず出てくるものなんです。たとえばこの別府の場合でも、温泉の生成機構はある程度わかってきました。しかしまた、新たなテーマとして、たとえば別府の地熱温泉活動の年齢が出てきました。最近ではこれも、なんとか見積もることかできるようになってきました。

佐藤 ちなみにどれくらい経っているんでしょうか。

由佐 大体5年から10万年ぐらいの間かなと推定できるようになっています。そうすると、その間、化学成分がずっと排出されていたわけですが、その代表的なものはClですが、その量をざっと見積もると、岩石に含まれているClが溶かし出されてきたと考えた場合、数千年分しか賄えません。ところが寿命が5万年～10万年ぐらいですと、Clは常にどこからか供給されていないといけないわけですね。

佐藤 そんなに長期間にわたって供給するのは可能なんですか。水ではありませんよね。

由佐 水そのものは天水ですから違います。地下のマグマから供給されてきたという考え方をしているんですが、そうならばいつも地下からきていないといけない。定期的にClを補給してくれるのはなんだということになるわけです。

Clの供給源は海水ではないかと考えられていた時代がありましたが、今では現在の海水ではなくて、他のルートからやってきているものだと考えざるを得ない状況なんです。ところがClが5万年、10万年の間、マグマからやってきているとしても、マグマに供給する源があるはず。一体それはなにかということ、今後は考えていかなければ

ならないと思います。

かつて温泉の研究が始まった頃は、海水からきているといわれた説が否定され、今度は別の面でのプレートの沈み込み、マグマの発生というプロセスの中でClが循環しているのではないかとという新たな研究テーマができたわけですね。

地熱発電や地域暖房に利用

佐藤 まだまだ、研究をしていかなければいけないテーマがたくさんあるということですね。そのテーマのひとつかもしれませんが、地熱は今後どのように利用されていくのでしょうか。

由佐 いろんな考え方があると思うんですが、ひとつは今まで通りのような温泉、社会福祉と関わりあったような発展の仕方ですね。保養とかは広い意味での福祉に含まれると思います。これまではそれが主流であったわけですが、これから将来も主流となるべきものであると私は思います。

しかし一方では、より直接的にそのエネルギーを利用しようという動きもあります。その代表的なものが地熱発電だと思いますが、ある程度の技術が発達すれば、より現実的になってくると思います。

佐藤 現在、九州電力の地熱発電所がありますが、産業として成り立つ可能性はあるのでしょうか。

由佐 発電は現状もそうなんですが、大規模な発電所はできないと思います。しかしローカルエネルギーとしては、大いに意味はあると思います。

世界的に見ての話ですが、中国の奥地などで人口のあまり多くない所で水力発電をする場合、地熱は比較的安定していますので、ベースをそれに設定して事業を進める。ですからローカルエネルギーのベースにはなるといえますね。

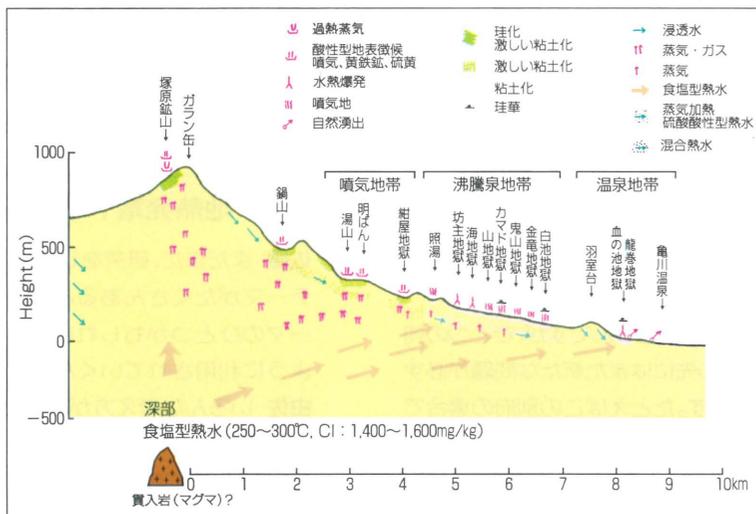
しかし常に考えておかなければならないのは、われわれが利用してきた既存の温泉と新しい方法での利用をどこで調和させるかを考えながら進めるべきであると思います。当たり前の話ですが、一方に偏することでは困ると思いますね。

佐藤 やはりうまく自然とつきあっていくことが必要ということですね。

由佐 確かにそうですね。いろんな利用の仕方があ

図 3

温泉水の成分・地熱表面徴候・変質等の分布から推定された地下の地熱流体の活動(別府地熱地域北部における模式的な東西断面)



としますので、これからの研究課題のひとつですね。

佐藤 日本人は温泉から恩恵を受けている人種だと思いますが、世界的観点からは温泉の効用をもっといろんな人に利用してもらいたいということになるのでしょうか。

由佐 実際に入浴だけに限らず、地域暖房なども含めて、割と利用されはじめていますね。最近ではアメリカ合衆国も取り組み始めているようです。東海岸の方で非火山性の熱源だと思いますが、あまり温度は高くないようですが地域暖房には十分利用できるようです。

佐藤 豊富な温泉と豊かな自然に恵まれた大分にいることは、世界的に見てもとても幸せなことだと思いますね。

由佐 私もそう思いますね。地球のダイナミックな動きを温泉という形で直接利用できる

幸せを大いに誇りたいですね。

佐藤 あまり近くにあり過ぎて、なかなか温泉には行かないんですが、もっともっと有効に利用していきたいと思います。本日はありがとうございました。



●九州電力八丁原発電所

連載
エッセイ

『新語死語』

松田文太郎

相手は東川よしきくん。まだ5歳の園児である。平塚から夏休みにやって来た。一ヶ月振りに会って、いきなり、それこそ機関銃のようにポンポンと「新語」で攻撃してきたのにはたまげた。

「ねえねえ、ピカチュー知ってる？」

「ピカチュー？」

「それじゃズバット」

「ズバット？」

「ヨコンは？」

「…？」

こちらは何の事やらさっぱりわからない。いったいこの子の中で何が起きたのだろうか、とおろおろするばかり。

そんな私によしきくんはお構いなし。

「ビードルがねコクウンにしんかして、コクウンはスパアにしんかするんだ」

「しんか？」

「そうだよ、トニータはギャロップに、トサキントはアズマオーにしんかするんだ」

話のぐあいからして「しんか」が「進化」らしいことはわかる。

ギャロップやアズマオーは聞いたことがある。これは中央競馬の競走馬の名前だったはずだ。しかし、どうもそうではなさそうだ。うっかりしたことを言って笑われるのは癪だ。

一方的に押しまくられて、こちらは完全にお手上げ。彼はこのまぎらわしいカタカナ語を150種以上も暗記しているのだ。「しんか」するしないも含めて、である。

この、いま子供たちに人気のポケモン、ポケットモンスターは、テレビから生まれたコンピューターゲームのソフトである。あのタマゴッチのメーカーが開発したものでかなりの手応えがありそうだ。



その翌日、私には句会の予定があった。句会には宿題があって、その中に「忠」という課題があった。うまくまとまらないうと焦っていたところへ、よしきくんのポケモンが入ってきて、どうも集中できない。忠義、忠誠、忠勇、忠節…と、口の中で呟いているのをよしきくんに聞かれてしまった。

「ねえねえチュウセイって何んなの？」

この年齢の子は好奇心がいっぱいである。

「忠誠というのはね、国家や主人、国家というのは日本の国のことだけれども、国のためにまごころをもって働くことをいうんだよ。主人というのはややこしいね、会社といったら分かりやすいかな。そこでいっしょうけんめい働くということ、そうしてお給料をもらうんだからね」

尽くす、という言葉を使わずに働くという説明でカバーしようとしたのだが、私自身どうもすっきりしない。

ピカチュウが進化したらライチュウというように明快に回答できない。もう長い間「忠誠」などという言葉は使っていない。周囲で聞いたこともない。

まさか忠誠が進化して給料になる、なんて言えない。納得していないよしきくんの顔を見ながら、もうこれは「死語」になっているなど私はぼんやり思った。

念のため私は質問してみた。

「よしきくんは孝行ということ知ってる？」

「コーコー？」

「そうだよ、親孝行って、聞いたことない？」

「知らなーい」

「そうか、きみはまだ聞いていないのか」

そこで私は、彼の両親のために親孝行の教育をしてやろうと思った。

「親孝行というのはね、お父さんやお母さんを大事に大事にしていくことだよ」

「ぼく大事にしてるよ」

「そうかそうか、それはえらいね。いまきみは小さいから、お父さんやお母さんが一生懸命働いて育ててくれている。これから大きくなるまでずっとね。だからきみは大きくなって、お父さんやお母さんが年寄りになって、もう今みたいに働けなくなったとき、こんどはしっかりとがんばって、ご恩返しをしなくちゃいけない。それがちゃんと出来る人を親孝行な人だということだよ」

しかし、話している途中から混乱してきたのは私の方だった。その親へのご恩を、私自身返していないことに気がついたからだ。八十歳を過ぎた老母を遠い郷里に一人にしておいて、何が親孝行だ。これからどんな孝行をしようというのか。

はっきりいえることは、もはや、少なくとも私の中では「孝行」は死語になっているという事実だ。この発見は私をたじろがせた。

しかし、5歳児のよしきくんに弱味は見せられない。私は叫ぶように言った。

「おじいちゃんたちが進化してパパたちになった。パパやママが進化してよしきくんになったんだ。だからパパたちもよしきくんも、もともとは同じなんだ。自分と同じようにパパやママは大事なんだ！」



この稿はよしきくんが帰ってから書いた。ポケモン用語に聞きちがいや書きちがいがあったらお許しください。



(社)日本水道協会 「水道施設耐震工法指針・解説」改訂について

1. はじめに

この度、(社)日本水道協会「水道施設耐震工法指針・解説」が改訂された。1995年兵庫県南部地震をはじめ、近年発生した内外の大地震の分析などで得られた新しい知見が多く盛り込まれている。ここでは、主にダクタイル鉄管に関して、従来のもので変わった点を中心に概要を説明する。

2. 地震動レベル

耐震計算では、供用期間中に1~2回発生する確率を有する地震動レベル1、および大規模なプレート境界地震や内陸の直下型地震動のように、発生確率は低いが大きな地震動レベル2を考慮することになっている。なお、地震動レベル1は、従来の本耐震工法指針で設定されていたものである。

また、水道施設の耐震化を計画するに当たり、重要度の高い施設(ランクA)およびその他の施設(ランクB)の2つに分けることを原則とし、ランクAの施設は水道事業体の実態を踏まえ、各々の事業体が責任を持って決定することになっている。

3. 安全性照査の基本的な考え方

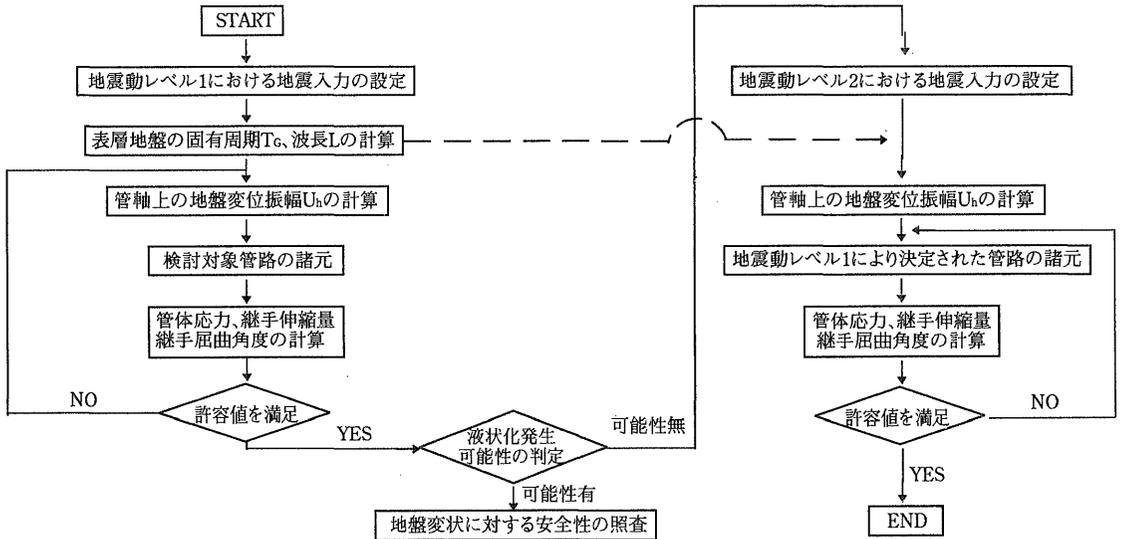
(1) 耐震計算は地震動レベル1、レベル2ともに応答変位法により管体に発生する応力を求め、安全性を照査する。また、継手部における管軸方向伸縮量および屈曲角度の耐震計算も応答変位法による。新指針に記されている安全性照査の基本的考え方の表をそのまま表1に示す。また、その手順のフローチャートを図1に示す。

表1 管路の安全性照査の基本的考え方

地震動	荷重状態	照査の基準	
		継手構造管路	一体構造管路
レベル1	地震動レベル1による荷重+常時荷重	(管体:弾性域検討) 管体応力 \leq 許容応力(耐力) 継手部伸縮(伸び)量 \leq 設計照査用最大伸縮(伸び)量 ⁽²⁾	(弾性域検討) 管体応力 \leq 許容応力(降伏点応力) ⁽³⁾
レベル2 ⁽¹⁾	地震動レベル2による荷重+常時荷重	(管体:弾性域検討) 管体応力 \leq 許容応力(耐力) 継手部伸縮(伸び)量 \leq 設計照査用最大伸縮(伸び)量 ⁽²⁾	(塑性域検討) 管体歪み \leq 許容歪み

注： (1) 地震動レベル2で照査する場合は、地震動レベル1の場合の基準も満足すること
(2) 設計照査用最大伸縮(伸び)量は、表3.5.4「ダクタイル鉄管継手の伸縮(伸び)量」参照
(3) 溶接鋼管の場合、地震動レベル1を塑性域で検討するときは管体歪みがレベル1の許容歪み以下であること

図1 埋設管路の安全性照査の手順



(2) 液化化などにより地割れや側方流動など、大きな地盤変状が予想される場所に埋設する管路については、地盤変状に管路が追従できるかにより安全性を照査する。

- ・速度応答スペクトル 図2 より S_v を求める。
- ・管路上の地盤の水平変位振幅

$$U_h(X) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_c \cdot k_{h1} \cdot \cos \frac{\pi X}{2H} \dots\dots\dots (4)$$

3. 応答変位法による安全性の照査

管体応力、継手伸縮量および継手屈曲角度の計算方法について、紙面の都合上、その概要を示す。詳細な計算方法および記号などについては、新指針を参照していただきたい。

(1) 管体応力

1) 地震動レベル1

地震動レベル1に対しては管と地盤の滑りを考慮しない従来の計算式を適用する

- ・地震入力の設定

基盤面における設計水平震度

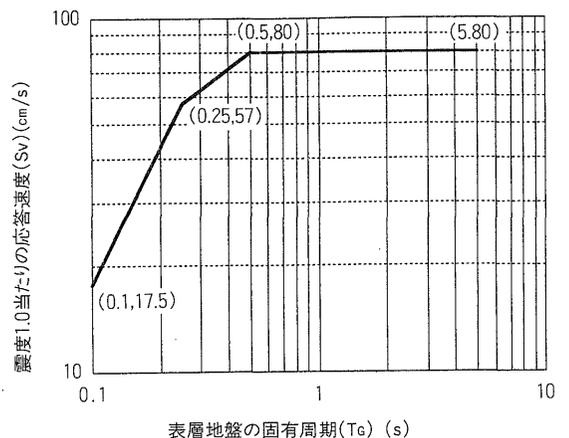
$$k'_{h1} = C_z \cdot k'_{h01} \dots\dots\dots (1)$$

(C_z : 地域別補正係数)

- ・表層地盤の固有周期 $T_c = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$ (2)

- ・波長 $L = \frac{2L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \dots\dots\dots (3)$

図2 設計用速度応答スペクトル (地震動レベル1)



式(3)、(4)の波長と地盤の水平変位振幅を用いて、式(7)、(10)で管体応力を計算する。

①一体構造管路の場合

・軸応力

$$\sigma_{1L} = \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h}{L} \cdot E \dots\dots\dots (5)$$

・曲げ応力

$$\sigma_{1B} = \alpha_2 \cdot \frac{2 \pi^2 \cdot D \cdot U_h}{L^2} \cdot E \dots\dots\dots (6)$$

・合成応力

$$\sigma_{1X}(X) = \sqrt{\{\sigma_{1L}(X)\}^2 + \{\sigma_{1B}(X)\}^2} \dots\dots\dots (7)$$

②継手構造管路の場合

・軸応力

$$\sigma'_{1L}(X) = \xi_1(X) \cdot \sigma_{1L} \dots\dots\dots (8)$$

・曲げ応力

$$\sigma'_{1B}(X) = \xi_2(X) \cdot (X) \sigma_{1B} \dots\dots\dots (9)$$

・合成応力

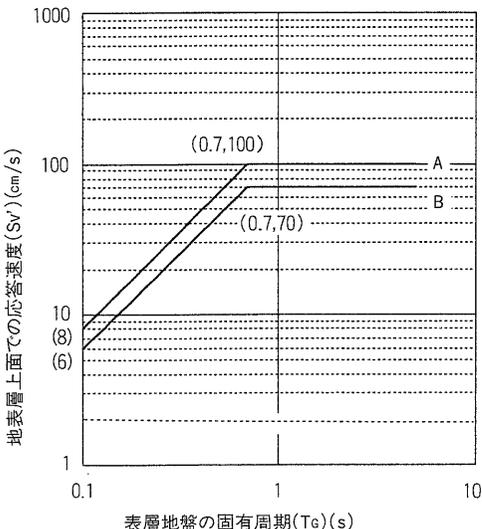
$$\sigma'_{1X}(X) = \sqrt{\{\sigma'_{1L}(X)\}^2 + \{\sigma'_{1B}(X)\}^2} \dots\dots\dots (10)$$

なお(7)、(10)式の $\sigma_{1L}(X)$ および $\sigma'_{1L}(X)$ には従来の耐震計算式と同様に、重要度に応じて1.00~3.12を乗じるのが望ましいと記述されている。

2) 地震動レベル2

地震動レベル2に対しては、軸応力は地盤と管の滑りを考慮した計算式を適用し、曲げ応力は滑りを考慮しない計算式を適用する。

図3 設計用速度応答スペクトル (地震動レベル2)



・地震入力の設定

図3のランクAおよびランクBから速度応答スペクトル S_v を設定

・管路上の地盤の水平変位振幅

$$U_h(X) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_g \cdot \cos \frac{\pi X}{2H} \dots\dots\dots (11)$$

レベル1において用いた波長と式(11)の地盤の水平変位振幅から式(14)、(17)で管体応力を計算する。

①一体構造管路の場合

・軸応力 $\sigma_{2L} = \frac{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot L'}{4A} \dots\dots\dots (12)$

・曲げ応力 $\sigma_{2B} = \alpha_2 \cdot \frac{2 \pi^2 \cdot D \cdot U_h}{L^2} \cdot E \dots\dots\dots (13)$

・合成応力

$$\sigma_{2X}(X) = \sqrt{\{\sigma_{2L}(X)\}^2 + \{\sigma_{2B}(X)\}^2} \dots\dots\dots (14)$$

②継手構造管路の場合

・軸応力 σ'_{2L}

軸応力 σ'_{2L} は、地盤と管の滑りを考慮した簡便計算法で計算する。図4は地盤と管の滑りを考慮した非線形応答計算で得られた管体応力と、滑りを考慮しない式を用いて計算した管体応力とが等価になるように速度応答を求め、種々の関係、地質に応じて包括するような速度応答スペクトルの例である。図4から S_v を求め、式(15)により軸応力 σ'_{2L} を求める。

$$\sigma'_{2L}(X) = \xi_1(X) \cdot \sigma_{2L} \dots\dots\dots (15)$$

ただし、 $\sigma_{2L} = \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h}{L} \cdot E$

・曲げ応力

$$\sigma'_{2B}(X) = \xi_2(X) \cdot \sigma_{2B} \dots\dots\dots (16)$$

・合成応力

$$\sigma'_{2X}(X) = \sqrt{\{\sigma'_{2L}(X)\}^2 + \{\sigma'_{2B}(X)\}^2} \dots\dots\dots (17)$$

また、軸応力の計算には、震度Ⅳ程度以上の地震時の観測結果から得られた式(18)によって計算してもよい。

$$\sigma_L = \frac{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot \ell}{2A} \dots\dots\dots (18)$$

(2) 継手伸縮量

$$u_j = u_o \cdot \bar{U}_j \dots\dots\dots (19)$$

$$\bar{U}_j = \frac{2\gamma_1 \cdot \cosh \beta_1 - \cos \gamma_1}{\beta_1 \cdot \sinh \beta_1} \dots\dots\dots (20)$$

$$u_o = \frac{\alpha_1 \cdot U_h}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (21)$$

(3) 継手屈曲角度

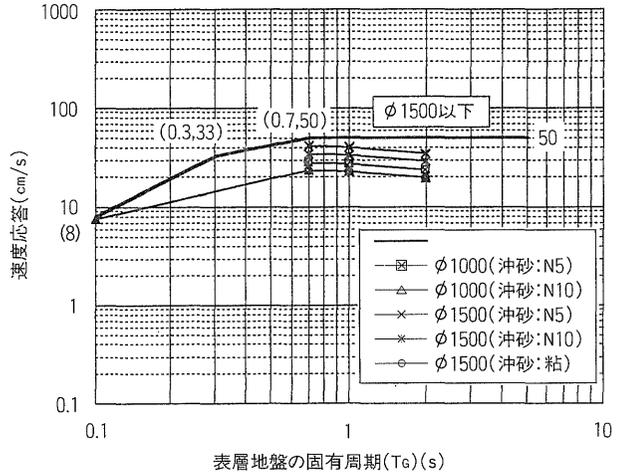
$$\theta = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot \ell \cdot U_h}{L^2} \dots\dots\dots (22)$$

4. 地盤変状に対する安全性の照査

厚生省「南関東大地震対策調査報告書」において、短尺管路であるダクトイル鉄管などの継手構造管路に関して提案されている下記の手法が記述されている。

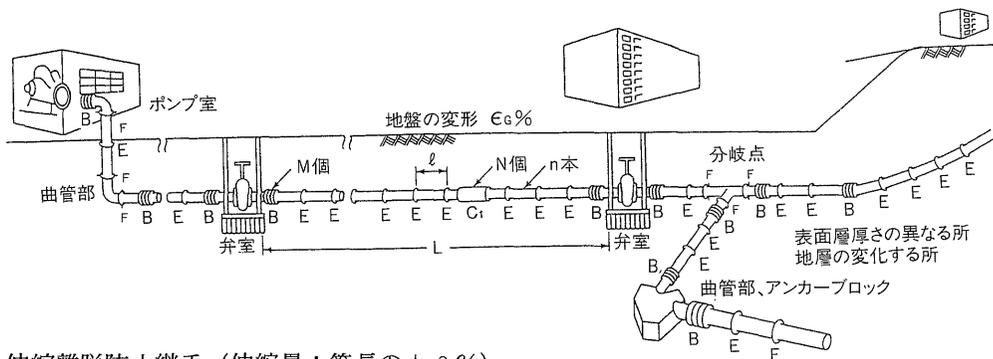
管路の直線部分には、伸縮量が大きく抜け

図4 地震動レベル2入力時の速度応答結果例 (レベルA相当：φ1500以下)



出しを防止する機能を持った伸縮離脱防止継手(伸縮量:管長の±β%, n個)を使用し、曲げを受ける所(建物の出入口、弁室前後など)には可とう性、伸縮性の大きな屈曲ボール形などの可とう継手(曲げ角度:±θ°, 伸縮量±a、M個)を設け、鎖構造管路とする。今、対象とする管路長をLとすると、管路の軸方向に関しては全伸縮量が地盤の変形ε₀・Lより大きく、地盤の変形を継手部の伸縮で吸収できるかどうかを調べる。

図5 継手構造管路の概念図



- E : 伸縮離脱防止継手 (伸縮量:管長の±β%)
- B : 屈曲ボール形などの可とう継手 (曲げ角度:±θ°、伸縮量±a)
- C1 : 長尺伸縮離脱防止継手 (伸縮量:±b)

$$\epsilon_c \cdot L < n \cdot \beta \cdot \ell + M \cdot a \dots\dots\dots (23)$$

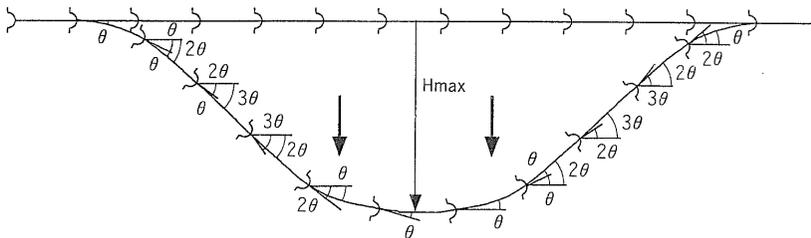
上記のことが成立しないときには、さらに管路の伸縮量を大きくする必要があり、伸縮量の大きい長尺伸縮離脱防止継手（伸縮量：±b）などを使いその個数（N）は次式により求める。

$$N = \frac{\epsilon_c \cdot L - n \cdot \beta \cdot \ell - M \cdot a}{b} \dots\dots\dots (24)$$

なお、各々の継手の抜け出し防止力は管路の摩擦力より大きくとる必要がある。

また、側方流動、沈下や断層変位などの管軸直角方向の挙動に対しても前述したのと同様な機能を持った管路で対応し、図6に示す方法で地盤の変化を吸収できるか調べる。

図6 管軸直角方向の変位吸収量



$$H_{max} = \ell \times (\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta + \dots + \tan 3\theta + \tan 2\theta + \tan \theta) \dots\dots\dots (25)$$

ここに、 ℓ ：管1本分の長さ

θ ：継手1個当たりの最大屈曲角度

また、1995年兵庫県南部地震において液状化の発生した神戸市内のポートアイランド、六甲アイランド地域で、S II形ダクタイル鉄管を用いた鎖構造管路の挙動を地震後計測した結果によると、管軸方向の平均地盤ひずみは最大1.7%で、そのときの管路の伸び量は管路長の0.8%であり、管路の伸びは管軸方向の平均地盤ひずみの約1/2であった。この管路では全部の継手数のうち50%の継手しか伸び切っておらず、かつ、残りの継手の半数はほとんど伸びておらず、さらに伸びる余裕のあることがわかり、2%以上の地盤ひずみに対してもこれらの管路は十分耐え得ることが記述されている。

地盤変位に対し鎖構造管路は継手部が伸びし地盤の変位を吸収するが、各継手が伸び切った状態でも、その後、それ以上の地盤変位に対しても管と地盤の間に滑りが発生することになり、そのときに継手部に発生する引張り力が継手の抜け出し防止力以下ならば管路は十分耐え得ることも記述されている。

5. 送・配水管路の設計上の留意点

下記のような箇所に布設する場合には、耐震性の高い管種を使用するのが望ましいとされており、耐震性の高い管種としては、鎖構造継手（S、S II、NS形など）のダクタイル鉄管および溶接鋼管が上げられており、必要に応じ

て伸縮可とう管または厚肉鋼管なども検討するよう記述されている。

- ・埋立地
- ・軟弱な表層地盤が厚い場所
- ・地質、地形の急変部
- ・液状化の恐れのある場所
- ・護岸（海、河川）近傍地盤
- ・傾斜地盤（坂道）
- ・活断層近傍

6. おわりに

以上、(社)日本水道協会「水道施設耐震工法指針・解説」の改訂内容について、主にダクティル鉄管に関する事項の概要を説明した。日本ダクティル鉄管協会においては、この改訂された「水道施設耐震工法指針・解説」に基づき、ダクティル管路の耐震設計方法をわかり易く解説し、事例計算も載せた技術資料「ダクティル管路の耐震設計について」を発行したので、ご利用いただきたい。