

4.10 既設建造物の耐震改修工事～江東区本庁舎～

4.10.1 はじめに

東京都江東区の区役所庁舎（写真 4.10.1）は耐震診断の結果、構造耐震指標 I_s が 0.2～0.4 程度の階が多く、耐震改修工事が必要と判断された。本庁舎に対しては、災害時の防災拠点としての役割を果たす必要があることから、大地震が起きた場合でも継続して業務を行うことができる高い耐震性能が求められた。一方、内部へ多くの補強を行うことは区役所の建物機能を損なうため不可能であると判断された。

この課題を解決するため、主に駐車場となっている 1 階の柱頭部分を切断して免震化する中間層免震補強が計画された。ところが、免震補強は建物の固有周期を長くして地震入力を低減することが目的のため、地盤の固有周期が長い軟弱地盤地域では相対的に不利となる。また、液状化が発生すると地盤がさらに長周期化して影響が大きくなるとともに、地盤変位により杭などが大きく損傷した場合、建物が機能しなくなる恐れがあった。

そこで、本改修工事では地盤あるいは基礎に対する安全対策も必要であるため、地盤改良が併せて行われた。



写真 4.10.1 江東区本庁舎¹⁾

4.10.2 地盤条件と地盤改良工法

(1) 地盤条件

敷地の地盤構成は、①埋土（地表面から GL-4m まで）、②有楽町層上部のシルト質砂および砂質シルト（GL-4m～-11m）、③有楽町層下部の粘土質シルト（GL-11m～-29m）、④洪積層の砂質土および粘性土（GL-29m～-62m）、⑤東京礫層（GL-62m 以深）である。建物の基礎はリバースサーキュレーション工法の場所打ちコンクリート杭で、GL-62.3m 以深の砂礫層（N 値 50 以上の東京礫層）を支持層としている。

②のシルト質砂層はレベル 2 地震動において液状化の可能性が高く、対策が必要な土層である。東北地方太平洋沖地震の際には、この地域で震度 5 弱～5 強の揺れが観測されたが、本敷地内では液状化の発生は確認されなかった。しかし、同じ区内の周辺では液状化による噴砂の痕跡が確認されている。

(2) 地盤改良工法の選定

対策工法の選定では、液状化を完全に防止することを目的とした全面改良では既存建物下での施工が困難であることや、工事が長期間となりコストも極めて高額となることから、採用は困難であると考えられた。

そこで、施工性、経済性に優れ、液状化時の地盤変形を抑えることで、地盤の長周期化を防止し、杭基礎および上部構造の安全性を高めることを目的とした「格子状地盤改良工法」が採用された。

() 格子状改良の概要

格子状地盤改良体と既存基礎との深さ方向の関係および地盤構成を図 4.10.1 に、改良体の格子状配置を図 4.10.2 に示す。改良体の格子間隔は、施工性を考慮して、地盤変形の抑止効果が得られる最大間隔として約 30m×40m とした。改良体の施工深度は GL-3.0m から -12.0m とし、液状化層のシルト質細砂を、非液状化層である上部の砂質シルトと下部のシルト質粘土で挟み込むように改良体深度を設定することで、過大な地盤変形の発生を抑えるようにした。

また、改良体下部のレベルにある粘土質シルト層は、やや過圧密状態となっている土層であり、改良体を根入れすることで改良体底面での滑動抵抗力が期待できる。

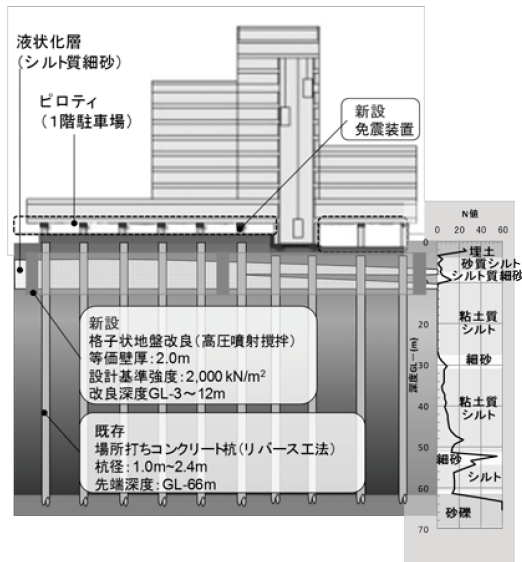


図 4.10.1 既存基礎と地盤改良範囲

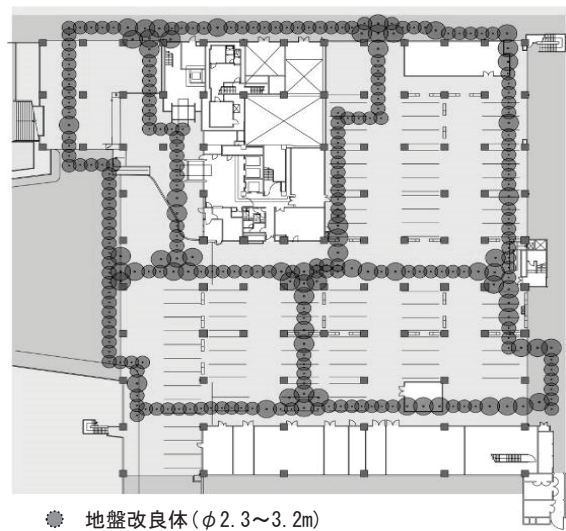


図 4.10.2 地盤改良体の格子状配置

本工事における施工状況を図 4.10. に示す。格子状の改良体を高圧噴射攪拌工法で造成することで、1 階駐車場の低空頭下での施工を可能とした。格子間隔が広がると、改良体に発生するせん断応力も増加するため、改良径 2.3m を基本とすることで改良体の設計基準強度を 2000kN/m^2 に抑えた。

また、壁状の改良体の交差部では応力集中によってせん断応力が増加するため、壁厚を増やす必要があった。そこで、改良径 3.2m の改良体を併用して必要壁厚を確保した。施工管理および品質管理は改良径ごとに実施する必要があるため、作業の効率性を考慮して改良径は 2.3m と 3.2m の 2 種類に限定された。

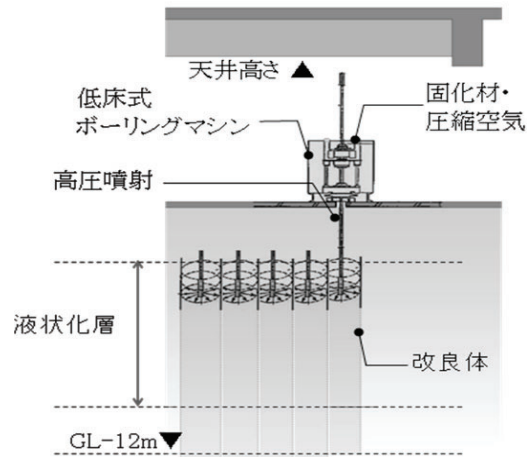
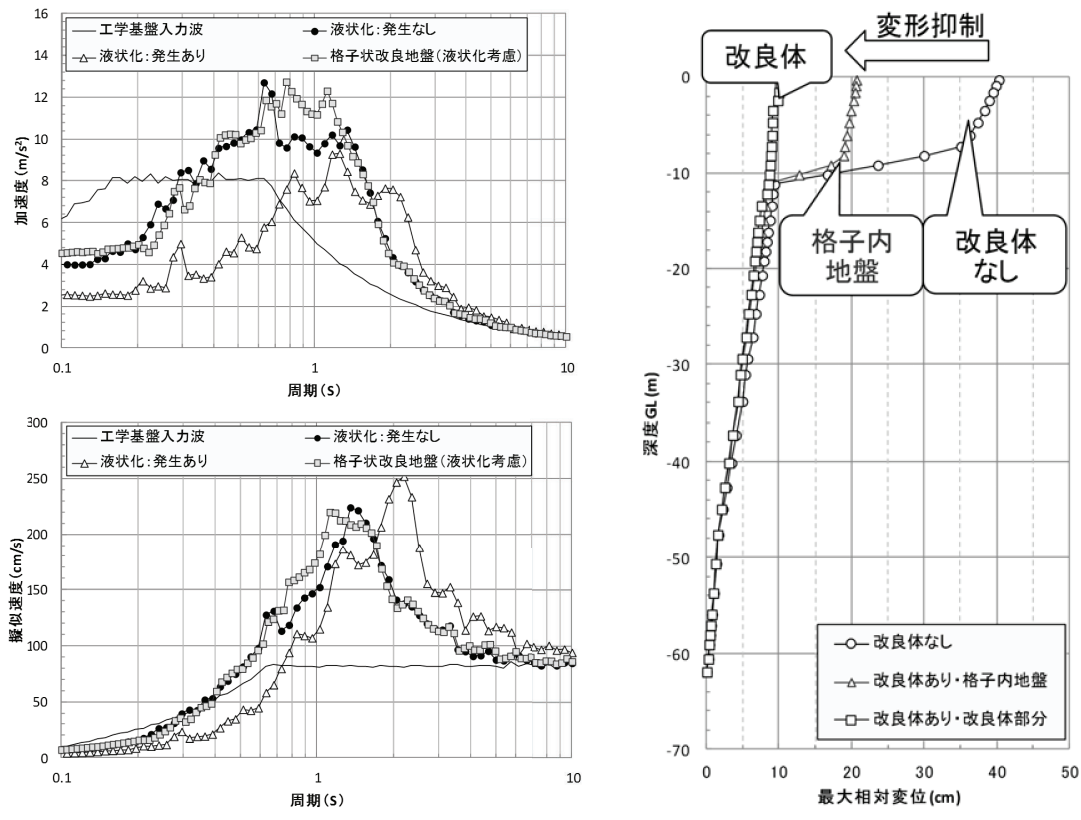


図 4.10. 施工状況図

4.10. 地震応答解析による改良効果の確認

格子状地盤改良による効果は、改良体と液状化する地盤を有限要素法（FEM）モデルで再現し、地震応答解析により確認された。構成モデルには等価線形解析を用い、地盤の長周期化と地盤変形量を安全側に評価できるように液状化時の剛性を十分に低減して全応力解析が行われた。

告示波（レベル 2・神戸位相）における格子状地盤改良の効果を図 4.10.4 に示す。改良を施さない地盤では、液状化の発生によって周期 2 秒以下の短周期成分では応答スペクトルが下がるものの、周期 2 秒以上の長周期成分では応答が増大するため、固有周期が 3～4 秒となる免震構造においては問題となった。これに対して改良した地盤では、レベル 2 地震動時の液状化を完全に防止することは難しいものの、格子状地盤改良体を設けることで格子内の原地盤が液状化に至っても地盤変形が抑えられるため、地盤の長周期化が抑制されることが確認された。



上:加速度 下:速度
(A)応答スペクトル(h=5%)

(B)最大相対変位

図 4.10.4 格子状地盤改良の効果

4.10.4 地盤改良工事

(1) 試験施工の概要

地盤改良工事を行うにあたり、格子状改良体としての品質を確保するため事前に試験施工が行われた。高圧噴射攪拌工法では機械攪拌工法とは異なり地盤の固さによって改良径が変化するため、所定の改良径まで施工できることと、改良体のラップ部においても所定の強度が発揮されることを確認する必要があった。

試験施工では、改良径と強度の確認だけでなく、本施工時の管理基準となる施工性（施工サイクル）の確認も行われた。試験杭は改良径 2.3m と 3.2m について合計 4 本が施工された。本施工では、既存建物下の地盤改良体は目視で全数確認することが不可能であるため、試験施工において品質が確保された改良体と同等の施工サイクルが再現できていることが確認された。

試験施工における確認項目を表 4.10.1 に、試験施工における品質調査の数量を表 4.10.2 に示す。また、品質管理基準を表 4.10. に示す。

表 4.10.1 試験施工における確認項目

	確認事項	確認方法
施工性	・スラブコア φ 200mm の排泥状況	・排泥状況、混入物の目視 ・排泥回収箱の設置状況の目視
	・排泥処理方法 (中継圧送方法と直接吸引方法)	・各排泥処理方法の排泥状況の目視
	・周辺スラブや地中埋設物への影響	・周辺スラブの変状(隆起・落下)計測 ・地中に埋設したガイドパイプの変位計測
	・施工時期	・施工時間計測
	・排泥量	・排泥量の計測
施工品質	・削孔鉛直精度	・小型特殊傾斜計による削孔の傾斜計測
	・改良径	・熱電対による地中温度の変化を計測 ・コア採取率
	・改良体の強度	・強度試験
	・改良体密着部の連続性	・コア採取率、強度試験

表 4.10.2 試験施工における品質調査数量

項目	施工数量
改良体 (φ 2.3m)	No.0~2 : 造成長 9.0m×3 本
改良体 (φ 3.2m)	No.3 : 造成長 9.0m×1 本
熱電対	No.1 (φ 2.3m) : 改良径 (杭心から 1.15m) 改良径より 0.1m 外側 (杭心から 1.25m) No.3 (φ 3.2m) : 改良径 (杭心から 1.6m) 合計 3 ヶ所
コアサンプリング	No.1 (φ 2.3m) : 改良体の杭心 改良径の半分 (杭心から 0.575m) No.2 との密着部に 2 ヶ所 No.3 (φ 3.2m) : 改良体の杭心から端部まで杭心から 0.5m 間隔 合計 8 ヶ所
地中水平変位	ガイドパイプ 16.5m×1 ヶ所 (No.2 の改良体端部)

表 4.10. 品質管理基準

確認項目	確認方法	判定基準
削孔鉛直精度	・傾斜計測	・地中二重管ロッドの傾斜が管理値 1/100 以内であること
改良径	・熱電対 ・コアサンプリング	・地中温度が上昇すること ・コア採取率が砂質土で 95%以上、粘性土 90%以上 (全長)、砂質土で 90%以上、粘性土 85%以上 (深さ 1m ごと) となること
改良体密着部の連続性	・強度試験 ・コアサンプリング	・改良体強度が本体部と同程度であること ・コア採取率が砂質土で 95%以上、粘性土 90%以上 (全長)、砂質土で 90%以上、粘性土 85%以上 (深さ 1m ごと) となること
改良土の強度	・強度試験	・25 検体以上によるパラツキを考慮した改良体強度が設計基準強度以上であること

(2) 試験施工の施工性と品質確認

注入体の配合を表 4.10.4 に示す。W/C は 85%とした。1 本あたりの注入量は、改良径 2.3m の場合で 15.52m³/本、改良径 3.2m の場合で 21.78m³/本となる。

施工性に関する項目としては、造成時の高い圧力で既存スラブや地中埋設物に悪影響を与えないことが確認された。改良体の品質に関しては、深度方向の芯ずれを傾斜計で、改良径は温度上昇を熱電対で計測された。

また、杭心、杭心から D/4 (D:改良径)、ラップ部において全長コアのサンプリングが行われた。ラップ部の全長コアを写真 4.10.2 に示す。このコアでは、改良体の先行部および後行部に重なりによる斑模様が確認された。

表 4.10.4 注入体の配合 (練り上がり 1 当たり)

固化材	850kg	0.279m ³	(密度 3.05g/cm ³)
水	721kg	0.721m ³	(密度 1.00g/cm ³)
合計	1571kg	1.000m ³	(密度 1.57g/cm ³)



写真 4.10.2 ラップ部の全長コア

改良体強度の合否判定は、各コアボーリングから 9 本 (上・中・下で各 3 本) ずつ供試体を採取し、それらの一軸圧縮試験の結果が下式 2) を満足することから、合格とされた。

$$F_c = \bar{q}_{uf} - m \cdot \sigma$$

F_c : 設計基準強度 (2000kN/m²)

\bar{q}_{uf} : 現場平均強度 (kN/m²)

m : 不良率から定まる定数 1.3 (不良率を 10%とする)

σ : コアの一軸圧縮強さの標準偏差 (kN/m²)

4.10. おわりに

本工事での地盤改良は、レベル 2 地震動において液状化による被害を軽減するため、格子状地盤改良工法が実施されたものである。また、天井高さが制限された特殊な環境下においても施工が可能であることが確認された。既存建物下での格子状地盤改良を行うことにより、上部構造の免震改修による補強効果の向上と、地震時の基礎構造への被害低減が図れ、地震後の建物機能維持が可能になったと考えられる。

【参考資料】

- 1) (株) ミヤガワ提供
- 2) (財) 日本建築センター：改訂版建築物のための地盤改良の設計及び品質管理指針、2002、pp.37～39