

東日本大震災による液状化被災住宅の 不同沈下修正工事例

高田 徹*、藤田 雅一**

* TAKATA Tooru、
** FUJITA Masakazu、(株)設計室ソイル・東京都中央区日本橋 3-9-12

1. はじめに

千年に一度と言われる規模の東日本大震災では、東北～関東地方にかけた広い範囲で大規模な液状化現象が発生し、住宅地にもライフラインの損壊や住宅の不同沈下などの多大な被害を及ぼした。

住宅の沈下修正工法には、大きく分けて耐圧版工法、鋼管圧入工法、嵩上げ工法、注土工法、曳家工法がある。その中でも注土工法は、解決すべき課題はあるものの他工法に比べて迅速かつ安価であることから、適用実績が伸びている。これは早急なる復旧要望と家主の負担で工事を行うという点で、信頼性の高い鋼管圧入工法では高額となるため適用し難くなるという背景があるからと考える。

本稿では、修正工事例紹介として信頼性の高い鋼管圧入工法と利得性の多い注土工法の2つの工法について紹介する。

2. 鋼管圧入による不同沈下修正工事例

2.1 建物の被害と地盤概要

表-1に被災概要、図-1に1F床レベル測定結果、図-2に建物敷地内のSWS試験結果を示す。図-1より、不同沈下量は、玄関側より食堂側へ最大-257mmであった。また図-2より、GL-2m付近までが盛土、GL-2～-4mまでは、N値3程度の粘性土、GL-4m以深は、一部軟弱な自沈層を含むが、概ね、N値10程度の砂質土であった。また、地下水位は、GL-1.7mに見られた。

表-1 建物概要と被害

場所	千葉県浦安市
建物	木造2階建
基礎	布基礎
最大不同沈下量	257mm
最大傾斜角	25/1000

2.2 建物修正計画

今回、建物被害がそこそこ大きかったため、注入や嵩上げ工法等は適用困難と判断した。そして地下水位の位置より、人力掘削にも支障が少ないことから、耐圧版または鋼管圧入工法が選択できる。本件では、今後の液状化に対し



図-1 レベル測定結果（事前：単位 mm）

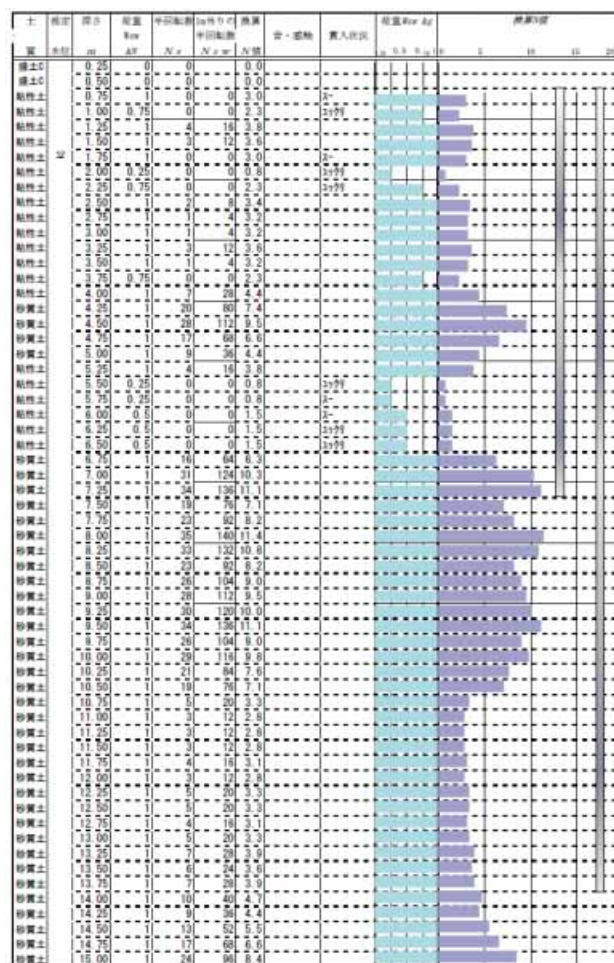


図-2 SWS 結果

て被害軽減したいという施主の要望に応じ、鋼管圧入工法が採用された。

圧入鋼管はφ139.8mm、*t*6.0mm、長さ11.0mを使用した。鋼管設置本数は、建物荷重 w を15kN/m²として基礎梁総延長 ΣL と建物総荷重 W （建物面積 $A \times w$ ）より求めた単位長さ当たりの負担荷重 w （ $W/\Sigma L$ ）による曲げモーメント M と基礎梁断面より求めた抵抗モーメント M_c から計画軸力および杭基準ピッチを求めて配置し、決定した。図-3に圧入フロー、図-4に杭配置を示す。

鋼管の圧入力は、計画軸力の3倍以上（極限荷重）を目安として圧入した。また鋼管の接続には、作業環境と作業性を向上させるため、無溶接タイプ（ネジ方式）の継手を用いた。

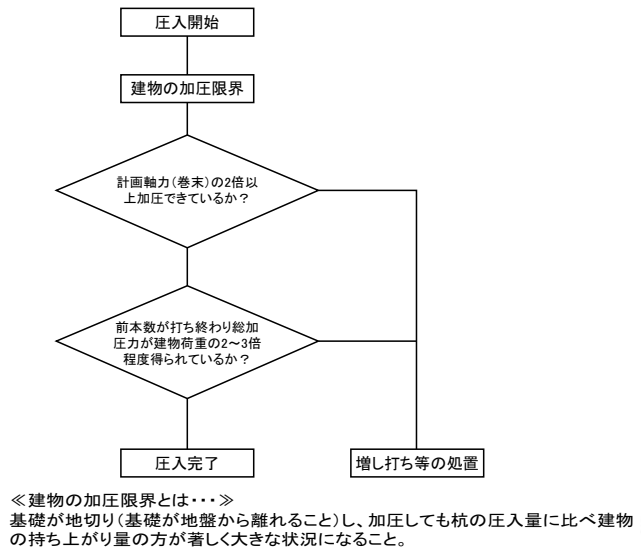


図-3 圧入フロー

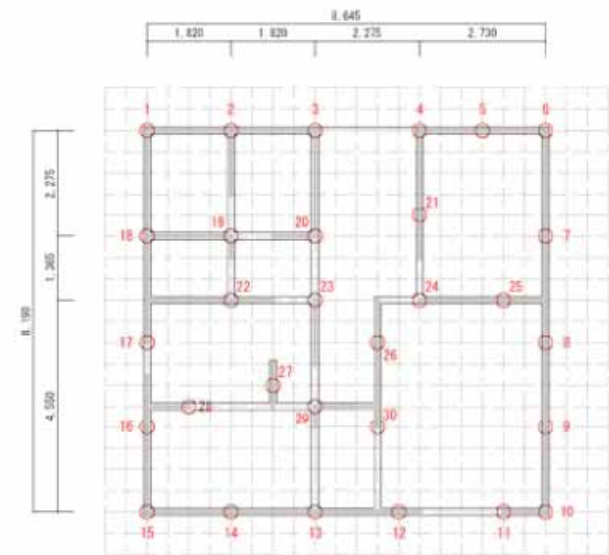


図-4 杭配置図

2.3 建物の修正結果

表-2に圧入結果、図-5に修正結果を示す。鋼管長は、最長で約14.0m、最短で約7.3mとバラツキは有るものの圧入力は計画圧入力のNo.19の2.7倍以外は全て3倍以上

確保できていた。また床レベルは±2mm以内、傾斜角1/1000以下の修正精度にて引き渡し完了した。

表-2 圧入結果

杭No.	基礎下杭長(m)	ジャッキ種類	ジャッキ受圧面積(cm ²)	油圧力(Mpa)	最大圧入力Pm(kN)	計画軸力P(kN)	Pm/P
1	10.1	200kN	33.18	46	152.6	31.9	4.8
2	10.15			48	159.3	46.1	3.5
3	10.15			50	165.9	31.9	5.2
4	13.35			50	165.9	24.9	6.7
5	14.1			46	152.6	21.3	7.2
6	12.97			50	165.9	29.4	5.6
7	10.4			50	165.9	42.6	3.9
8	13.95			43	142.7	39.0	3.7
9	7.35			50	165.9	28.4	5.8
10	7.28			50	165.9	21.3	7.8
11	7.33			50	165.9	24.8	6.7
12	7.38			48	159.3	46.1	3.5
13	7.28			50	165.9	46.1	3.6
14	7.33			50	165.9	28.4	5.8
15	7.64			45	149.3	28.4	5.3
16	7.5			50	165.9	35.5	4.7
17	8.05			46	152.6	46.1	3.3
18	7.5			48	159.3	49.7	3.2
19	7.6			46	152.6	56.8	2.7
20	7.4			50	165.9	42.6	3.9
21	7.33			40	132.7	28.4	4.7
22	7.4			48	159.3	39.0	4.1
23	7.3			50	165.9	42.6	3.9
24	7.29			50	165.9	35.5	4.7
25	7.3			50	165.9	21.3	7.8
26	7.3			50	165.9	28.4	5.8
27	7.32			50	165.9	35.5	4.7
28	8.15			45	149.3	21.3	7.0
29	7.27			50	165.9	53.2	3.1
30	7.35			48	159.3	39.0	4.1
合計	258.82				4801.1	1065.5	
平均	8.63			48.23	160.04	35.52	4.88



図-5 レベル測定結果（事後：単位 mm）

3. 薬液注入による不同沈下修正工事事例

3.1 建物の被害と地盤概要

表-3に宅地の被災概要を示す。被災建物は、木造2階建のベタ基礎である。図-6に1階床レベルの測量結果を示すが、南から北方向に向かって、ほぼ一様に最大74mm

の不同沈下が認められる。図-7に震災前に実施した当該地のSWS結果を、図-8に震災後に当該地で実施したボーリング結果を示す。両調査結果より、深度3～5m付近に自沈軟弱層が存在し、深度9.8mまで $N \leq 10$ の砂質土であり、地下水位はGL-0.5mと推察される。

図-9に当該地の近隣宅地（約50m離れた位置）で実施した三成分コーン貫入試験（CPT）結果を図-10にそのCPT結果で推定した土質と F_L 値の深度分布を示す。なおこの F_L 算出に用いた地震動は、損傷限界地震動を想定してマグニチュード7.5、地表面最大加速度 200cm/s²とした。CPT結果の q_t の深度分布傾向がSWS結果と類似していることから、沈下修正計画ではこのデータも参考資料として用いた。

表-3 建物概要と被害

場所	千葉県習志野市
建物	木造2階建
基礎	ベタ基礎（地盤補強 無し）
不同沈下量	74 mm
傾斜角	5.7/1000

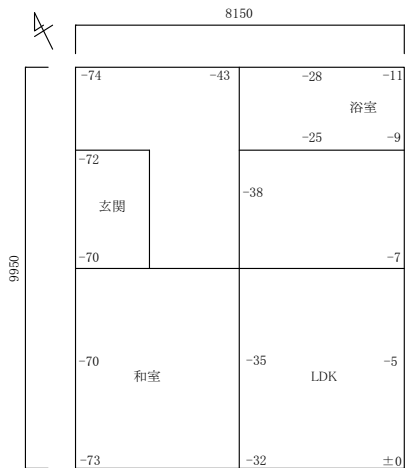


図-6 1階床レベルの測量結果（事前：単位 mm）

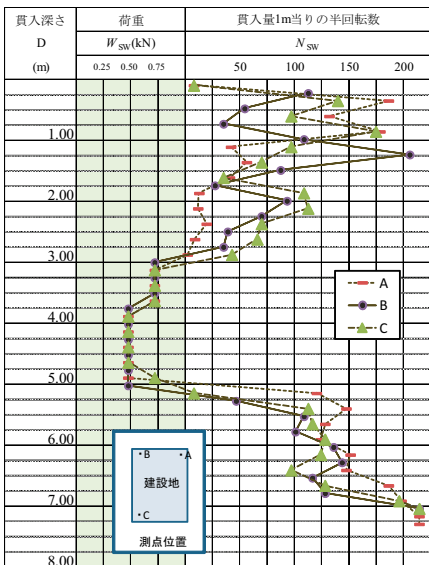


図-7 SWS 結果

図-9より液状化層（ $F_L < 1$ ）は、深度2.4m以浅で点する程度認められるが、GL-5～-6.8mには連続して出現している。この F_L 値を用いて液状化による危険度評価を行ったところ、 $P_L = 8.34$ （危険度：大）、地表面動位的変位 $D_{cy} = 11.34$ （危険度：中）となった。

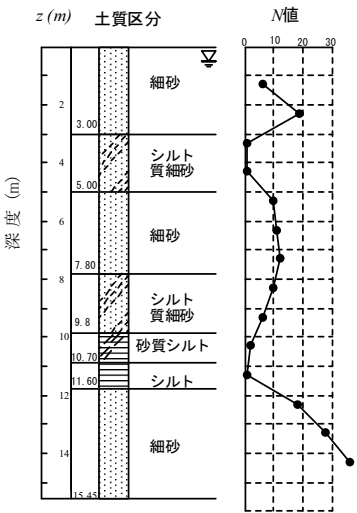


図-8 ボーリング調査結果

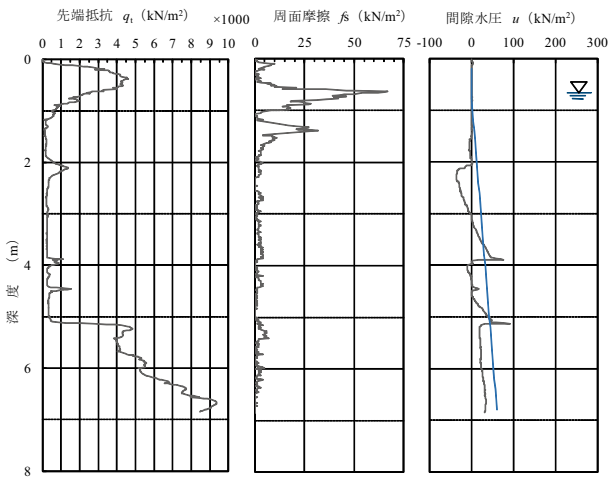


図-9 CPT 結果（近隣宅地）

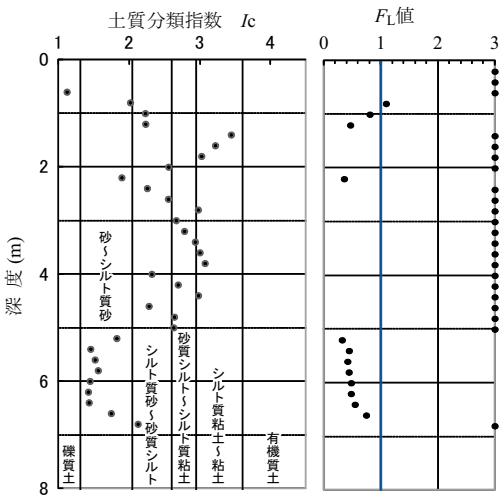


図-10 CPT 結果（近隣宅地）で推定した土質と F_L 値の深度分布

3.2 建物の修正計画

表-4に計画注入量を示す。初期の修正計画では、GL-5.0～-7.0mの液状化層を全面改良注入にて液状化対策を実施する計画を提案したが1宅地だけを液状化対策を施しても周辺が液状化してしまうと、どの程度の影響を及ぼすかも未知であることから、施主の意向および費用対効果が小さいと判断し、深さ3m部分を対象土として沈下修正注入した。

表-4 注入量の算出

注入目的	建物のリフトアップ	液状化対策
注入材	瞬結型懸濁性薬液	中結型浸透性薬液
注入深度 (m)	GL-0.15～-3.15m	GL-5.0～-7.0m
注入長 (m)	3.0	2.0
対象面積 (㎡)	77.0	77.0
対象土量 (㎡)	231	154
注入率 (%)	15	45
注入量 (㎡)	34.65	69.30
注入量合計 (㎡)	103.95	

*注入率：過去の実績及び既往の設計資料に準拠。

3.3 建物の修正結果

図-11に注入施工図を、表-5に注入施工概要を示す。対象宅地は住宅密集域に位置したため、隣地への影響を考慮して建物外周部を定量注入し、それから建物内部へと注入した。建物内部への注入は、建物の際から注入管を斜めに挿入して行い、注入機を2台用い、ほぼ2ラインの同時注入により施工を進めた。注入時は、建物の外部基礎および内部の主要な柱などのレベルを監視しながら施工した。

注入は注入ポイントの直上部が変位しやすい。注入時は床レベルのたわみが生じないよう、建物レベルを随時観測して、その都度注入ポイントを変更した。建物が持ち上がり始めると、周辺地盤に地割れが生じる。最終的には、そのクラック部分の緩み防護および地盤の均一化を図る目的で建物の下がっていない南方向にも定量注入した。

図-12に施工後の1階床レベルを示す。最終的には、計5日間の施工で完了し、床レベルは±2mmの修正誤差で引き渡すことができた。

4. おわりに

今回の地震による被害で修正が必要な住宅は未だ数万棟もあると言われ、また修正された住宅においても、再沈下など訴訟問題が生じている物件の話も聞こえてくる。これらの修正工法の多くは、法規的制約や学会指針などが示されず、現状では、業者と施主との信頼関係で行われていたりする。

今後、施主への工事の信頼感を高めるためにも、修正工事の設計・施工方法の基準類を整備する必要があると考えている。

(謝辞)

本稿は、報国エンジニアリング(株)、(株)グラウト工業の施工資料をもとに事例紹介した。資料提供いただいた両社の関係者に深く感謝いたします。

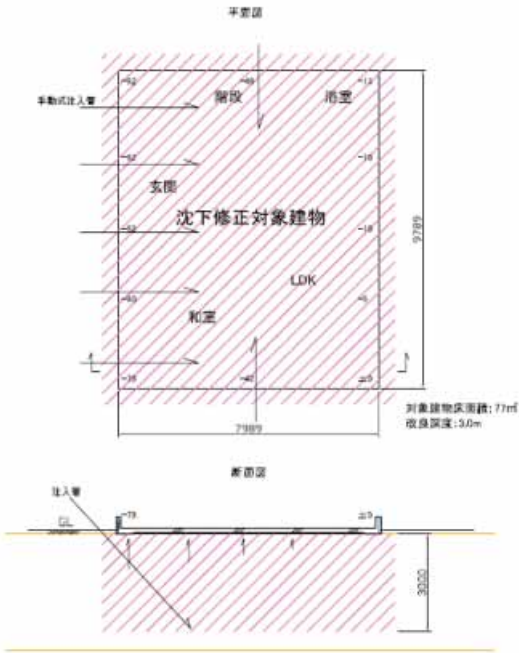


図-11 注入施工図

表-5 注入施工結果概要

注入方式	二重管ストレーナ方式 (単相)
注入材	瞬結タイプ懸濁型薬液 (3号珪酸ソーダ, 普通セメント, 硬化剤)
ゲルタイム	10sec
材料強度	$q_u=5000\text{kN/m}^2$ (ホモゲル)
計画注入量 (㎡)	34.65
実施注入量 (㎡)	32.60
実施工期間	5日
仕上げ床レベル	±2mm

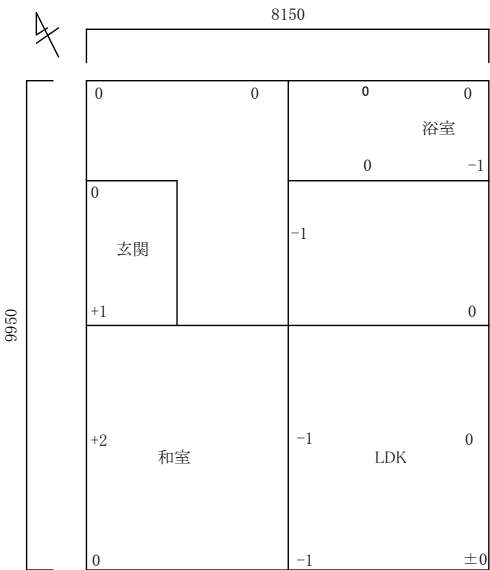


図-12 1階床レベルの測定結果 (事後：単位 mm)