

3. 基礎・地盤に関する紛争の類別事例

－因果関係の特定と修復技術の現状と課題－

高幣 喜文（㈹建築技術研究所）

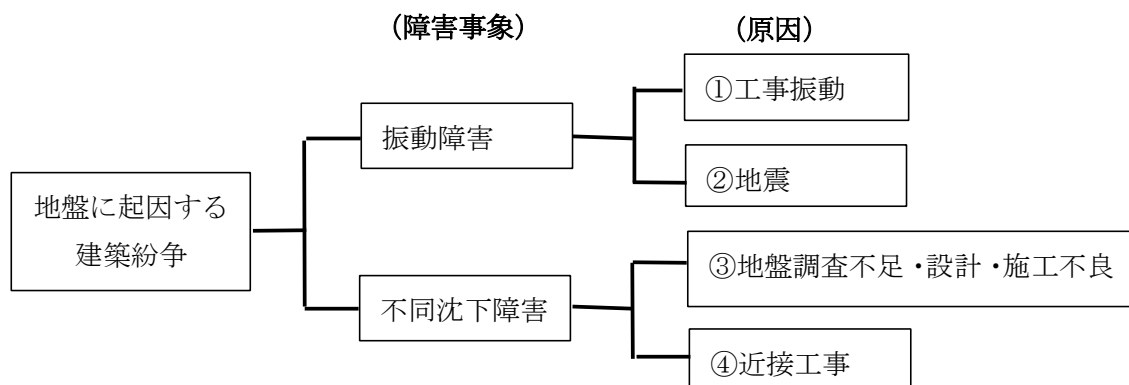
基礎・地盤に関する紛争の類別事例

一 因果関係の特定と修復技術の現状と課題 一

タカヘイ建築技術研究所
高幣 喜文

1. はじめに

建築紛争は、損害の有無と程度、原因の特定及びその補修対策が争われることが多い。特に、地盤に起因する紛争は原因の特定と補修対策に費用がかかり、紛争の解決が長引くケースが多い。紛争を障害事象とその原因に分けて大別すると下記ようになる。



障害と原因の因果関係の特定が、専門家に要求される技術的な課題である。因果関係の特定手順については、原因の①と②が標準化されておらず、研究の余地がある分野である。不同沈下障害については、住宅紛争処理の技術的基準（建設省告示第 1653 号）が定められ、住宅紛争処理技術関連資料集や小規模建築物基礎設計指針等で調査方法や補修方法の標準化が図られている。ワークショップの討論材料として、担当した訴訟事件の中から、標準化が不十分な振動障害に関する下記の 2 事例を紹介する。不同沈下障害については、提案される対策法の検討が十分なされていないため、技術的な論争になることが多い。事例 3 では、よく採用される鋼管圧入工法による補修対策の妥当性を評価した事例を紹介する。

事例 1 「基礎工事による振動影響評価の事例」：建設工事による建物の振動被害の判定手順を体系的に調査研究し、訴訟事件に適用した事例である。工事振動に関する原因特定の標準化技術となり得るものであり、裁判所の判断の根拠として採用された手順である。

事例 2 「大地震の影響の程度が問われた事例」：建物の不同沈下が層厚の異なる盛土の沈下によるものか、地震による盛土の沈下の影響であるのかが問われた事案である。盛土の沈下に及ぼす地震の影響を、定量化して評価した事例として紹介する。

事例 3 「アンダーピニング工法の妥当性が問われた事例」：鋼管圧入による不同沈下対策工法の妥当性の評価を求められた事案である。現在よく採用される建物の不同沈下補修法の現状と技術的な検討課題を浮き彫りにさせており、今後この種工法による対策案を提示する際に、参考となる事例として紹介する。

2. 事例

事例1：基礎工事による振動影響評価の事例

1) 事案の概要

鉄道高架橋の基礎工事により、鉄骨造4階建ての建物にひび割れ等の障害が生じたとして、補修費用、営業損害等の損害賠償を請求した事案である。

2) 争点

(申立側)

- ① 損傷は、杭や山留め等の基礎工事の振動により生じたものである。
- ② 杭はオールケーシング工法であり、リバースサーキュレーション工法や深礎工法を採用するべきであった。
- ③ 本件類似の建物や近隣家屋でも同じような被害が出て、補償が約束されている。

(相手側)

- ① 振動源として、過去の類似工事の中で申立人の主張に最も有利な振動レベルを採用しても、振動とひび割れ等との因果関係は否定されている。
- ② 本現場は15cmを超える玉石混じりの地層であり、オールケーシング工法は適合性が高い。
- ③ 25.5m位置での工事振動の測定結果では、施工時振動は最大でも67デシベルであり、同じ箇所の暗振動は75デシベルであった。因果関係は、到達振動レベルを理論上考えられる最大値(82デシベル)に設定して、検討した結果である。

3) 裁判所の判断

- ① 振動のみに着目してオールケーシング工法を採択したこと自体が不適切であるとの主張は採用できない
- ② 類似建物としている建物は軽量鉄骨造であり、(重量)鉄骨と素材の違いがあるとともに、築年度(昭和60年と平成7年)も相違がある。
- ③ 工事振動の影響については、実際の工事振動を再現して確認することが困難なため、過去の実測記録から振動レベルを推測し、建物の増幅特性を調べて影響の程度を検討することはよく採用される手法である。振動レベルは大きめの数値を採用しており、因果関係の検討値としては妥当な検討であることが認められる。

4) 技術的課題

- ① 到達振動レベルの推定法：工事振動の公表データは建設機械化協会等古いものであり、地盤や施工条件等の詳細な情報が不明なものが多い。地盤情報や施工条件等の詳細な工事情報を明確にした最新の機種による実測データの蓄積
- ② 建物の応答振動の推定法：建物の剛性評価や応答倍率の設定方法
- ③ 振動の大きさと損傷発生判断基準：気象庁、畑中やBanik等の判断指標があるが、判断基準が確立されていない。工事振動(8~25gal)レベルの微小な振動による建物への影響を定量的に調査した調査事例の蓄積・分析による基準の確立

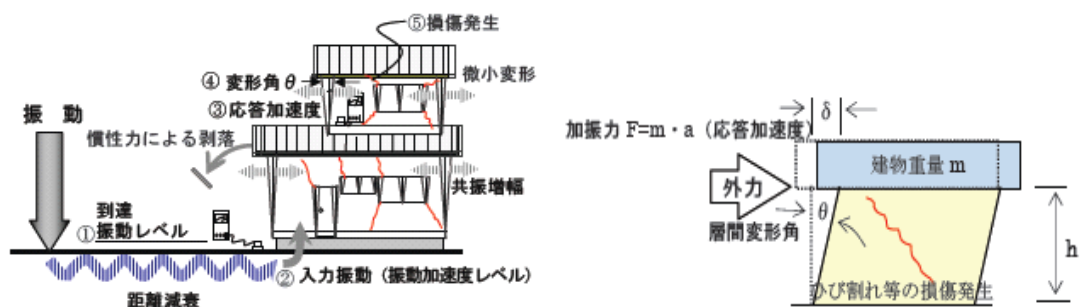
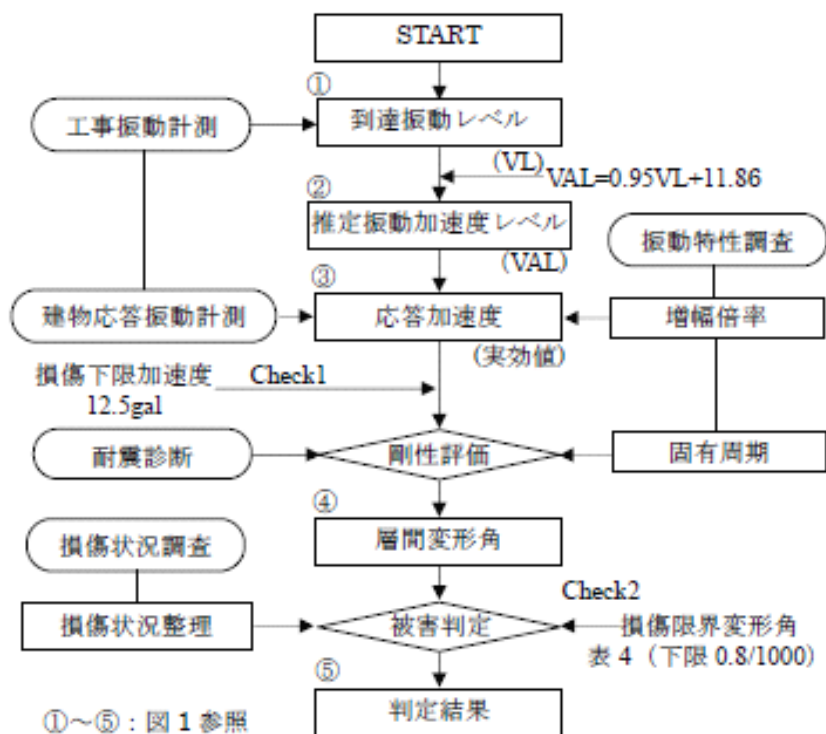


図 - 1.1 建設振動による建物被害判定手順 (文献 1.1 より)

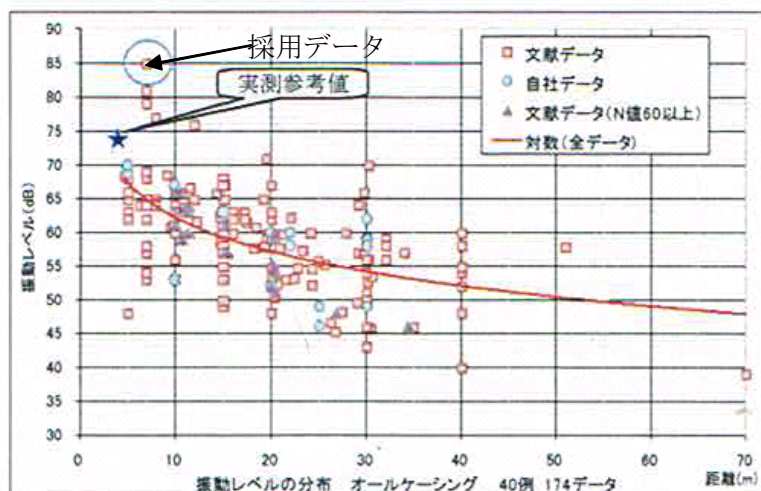


図 - 1.2 オールケーシング工法の実測振動レベル

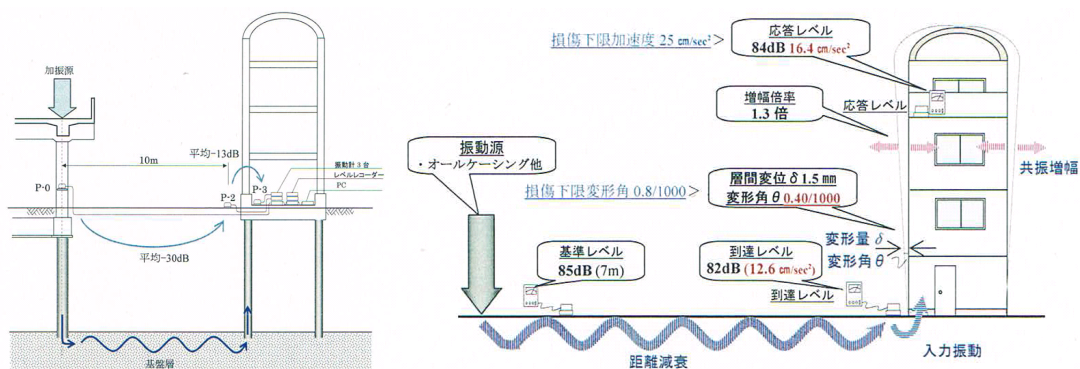


図 - 1.4 振動レベルの検討結果

表-1.1 振動による建物被害（過去の調査研究を加速度で統一表示した結果）

出典	建物被害の状況	振動速度 (cm/sec)	変位 (mm)	加速度 (cm/sec ²)	程度区分
表 1-3	石積・粘土造で少し被害が出ることがある			12.5	b
	並木造で僅かにひび割れや壁が落ちることがある			25	c
	RC 上等木造で多くにひび割れや壁が落ちることがある			50	d
図 2-2	ほとんど損傷なし	0.5		12.6～25.1	b
	軽微な損傷	1		25.1～50.3	c
	古い教会、古い記念館		0.127	8.0～32.1	a
	住宅及び建物(文中)		0.203	12.8～ 51.3	b
	畑中私案 4Hz		0.25	15.8	b
	畑中私案 8Hz		0.1	25.3	c
表 2-1	漆喰が落ちることがある	0.3		7.5 ～15.1	a
	些細なクラックが生じ壁土の崩落	1		25.1～50.3	c
	クラックが発生	1.5		37.7～75.4	d
	タイル目地切れモルタルひび割れ(文中)	0.5		12.6～ 25.1	b

表 - 1.2 実大建物の加振実験時の損傷発生

実験回数	方向	最大加速度 (cm/sec ²)	周波数 (Hz)	換算振動加速度 レベル (dB)	損傷発生状況
第 1 回	水平	5.4	31.5	75	変状なし
	鉛直	4.9	16	74	
第 2 回	水平	18	63	85	外壁の亀裂の拡大及び発生 (写真-2)
	鉛直	21	63	86	
第 3 回	水平	40.8	80	92	散り切れやクロス壁の隙間発生 基礎の亀裂の僅かな拡大
	鉛直	51.4	63	94	

表 - 1.3 損傷度と振動量の関係

レベル		損傷度	加速度 (cm/sec ²)	加速度 レベル (dB)
慣性力	I	仕上材等の状況により何らかの損傷が生ずる限界値	7.5	78
躯体 変形	II	脆弱な建物に損傷が生ずる下限値	12.5	82
	III	普通建物の被害発生限界	25	88
	IV	一般の建物の被害発生限界	38	92

文献 1.1：伊奈潔「建設工事による建物振動被害の判定手法」、日本建築学会環境系論文集、第 77 巻、第 676 号、P.453～460、2012 年 6 月

事例2：大地震の影響の程度が問われた事例

1) 事案の概要

盛土で造成された宅地において、家屋の不同沈下、壁の隙間や擁壁にクラックが生じた。申立人は土地を買い受け且つ設計・施工を請負ったハウスメーカーとの契約に基く請負工事に瑕疵があるとして、損害賠償を請求した。上記障害の発見前後に大地震があり、地震の影響の有無と程度が鑑定事項として問われた事案である。

2) 争点

(申立側)

- ① 大地震前から壁に隙間ができており既に不同沈下が生じていた。
- ② 敷地は、川が流れていた谷筋を盛土造成しており、盛土の厚さの違いが4mある。盛土の層厚の違いによる沈下差が原因と考えられ、設計・施工上の瑕疵がある。

(相手側)

- ① 大地震（兵庫県南部沖地震）前は建物の傾斜や壁の隙間はなかった。
- ② 想定外の地震であり、地震による地盤沈下が原因である。

3) 鑑定事項

- ① 建物の不同沈下や壁の隙間及び擁壁のクラックの発生原因と発生時期
- ② 兵庫県南部地震の影響の有無と程度
- ③ 補修方法と工程及び補修費用

4) 鑑定結果

- ① 盛土は礫混じり粘土質粗砂でスレーキングし易い土質である。細粒土が多く含まれていることによる圧密沈下やスレーキングによる沈下が生じる地盤である。上記の不具合は竣工後3年経過した頃発見されており、沈下の影響が表面化する時期である。盛土の厚さの違いによる不同沈下が主な原因であり、地震前から不具合は生じていると判断できる。
- ② 建物はツーバイフォーの比較的耐震性の高い建物であり、地震による上部構造への影響は比較的軽微である。地震による地盤沈下は、盛土の圧密やスレーキングによる長期的な沈下に較べて少なく、影響の程度は1割以下である。
- ③ 鋼管圧入による不同沈下修正工法の補修費は、1250万円～1500万円程度である。躯体の補修の要否は、仕上げ材を外した調査ができなかったため、不同沈下修正後に各部の状況を詳細に調査して判断されたい。

5) 技術的課題

- ① 盛土の水浸沈下やスレーキングによる沈下の経時的な予測手法
- ② 地震による盛土地盤の沈下予測技術及び沈下実測データの収集（液状化地盤並びに否液状化地盤）、粘性土地盤の地震による長期的な沈下予測や実測データの収集
- ③ 擁壁の補修並びに建物の上部躯体や仕上げの補修範囲の判断基準並びに補修費用の算定基準

Figure 1 is a cross-sectional diagram illustrating the distribution of ground thickness and the different settlement patterns of buildings A and B. The diagram shows a road with buildings A and B on both sides. Building A is on the north side, and Building B is on the south side. The ground surface is indicated by a dashed line, and the ground level is indicated by a solid line. The diagram shows the distribution of ground thickness and the different settlement patterns of buildings A and B. Key labels include 'B邸' (Building B), 'A邸' (Building A), '谷路' (Gully), '最大相対沈下量 (108~112m)' (Maximum relative settlement (108~112m)), '傾斜割合10/1000' (Slope ratio 10/1000), '道路' (Road), '北東側' (Northeast side), '南西側' (Southwest side), '盛土厚さ10m前後' (Fill thickness 10m or so), and '地山線' (Ground line).

ボーリング位置
(深度 12.35m)
盛土は礫混じり粘土質砂礫
各深度のN値
0~6.5m: N=1~5
6.5~10.5m: N=12~16
以下地山: N=50以上

南側私道(幅員2m程度)

RC擁壁(H=1.5m程度)

北東側道路(幅員6m程度)

緑●:当初の設計時のSS試験位置
試験深さ(以下は回転盤中止)
S点: 127cm
B点: 28cm
C点: 45cm

赤●:指定時のSS試験位置
試験深さ
S-1: 145cm
S-2: 225cm
S-3: 555cm
S-4: 428cm

開削

隙地(空地(約1m高い))

玄關(単位:mm)

測定

平成26年3月3日(土)調査
北東側道路の地盤調査結果

緑●:当初の設計時のSS試験位置
試験深さ(以下は回転盤中止)
S点: 127cm
B点: 28cm
C点: 45cm

赤●:指定時のSS試験位置
試験深さ
S-1: 145cm
S-2: 225cm
S-3: 555cm
S-4: 428cm

開削

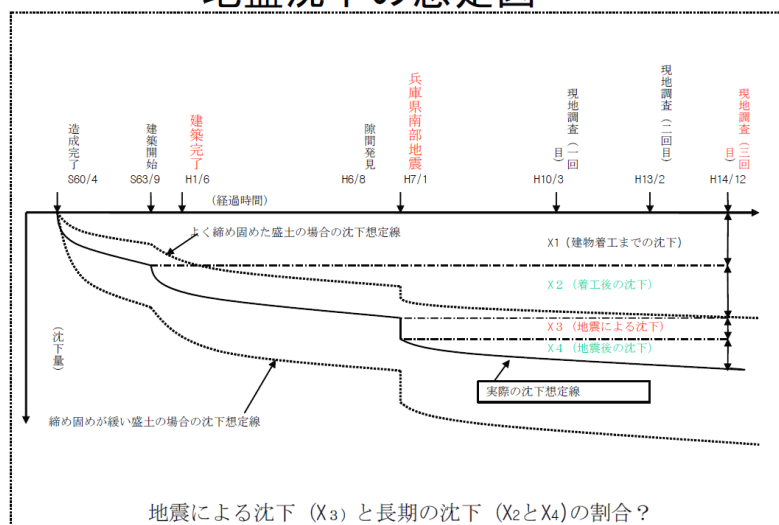
隙地(空地(約1m高い))

玄關(単位:mm)

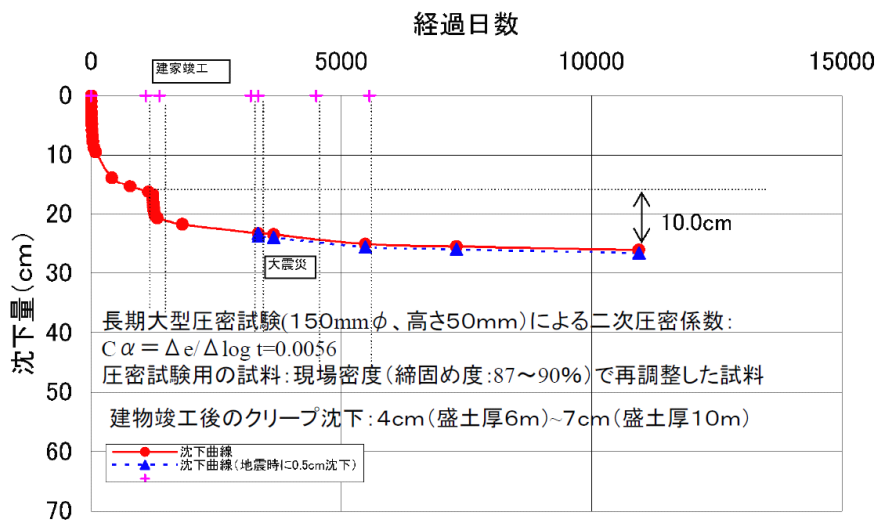
測定

平成26年3月3日(土)調査
北東側道路の地盤調査結果

地盤沈下の想定図



長期圧密試験結果に基づく沈下予測結果



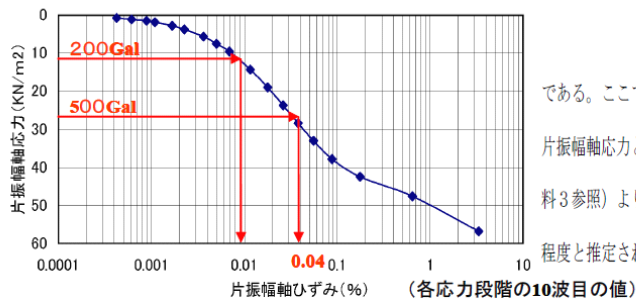
6

現地の相対密度に調整した試料による動的試験結果

表-2.1 セン断応力と片振幅軸ひずみの推定値

α_{max} (Gal)	τ_d (kN/m ²)	片振幅軸ひずみ (%)
200	11.5	≈ 0.010
300	17.3	≈ 0.017
400	23.0	≈ 0.025
500	28.8	≈ 0.040

建築基礎構造設計指針(2001)の提示式より
盛土中央(GL-5m)の τ_d を推定



$$\tau_d = \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot \gamma_d$$

$$\tau_d = 0.1 (7.2-1) \cdot \frac{200}{980} \cdot \frac{98.0}{98.0} \cdot (1-0.015 \times 5)$$

$$= 0.117$$

となる。したがって、水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 τ_d は

$$\tau_d = 11.5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

である。ここで求めた等価な一定繰返しせん断応力振幅 τ_d を動的変形試験における片振幅軸ひずみとすれば、動的試験結果より求めた応力とひずみの関係(図-2.4: 添付資料3参照)より片振幅軸ひずみは約0.01% (盛土が10mであれば0.1cmの変形が発生)程度と推定される。

振動三軸試験に基づき推定した地震による沈下量: 200Galでは1mm (想定層厚10m)
想定地震500Galとすると4mm 程度

図-2.4 振動三軸試験に基づき推定した盛土の沈下量

兵庫県南部地震における埋立地の沈下実測事例

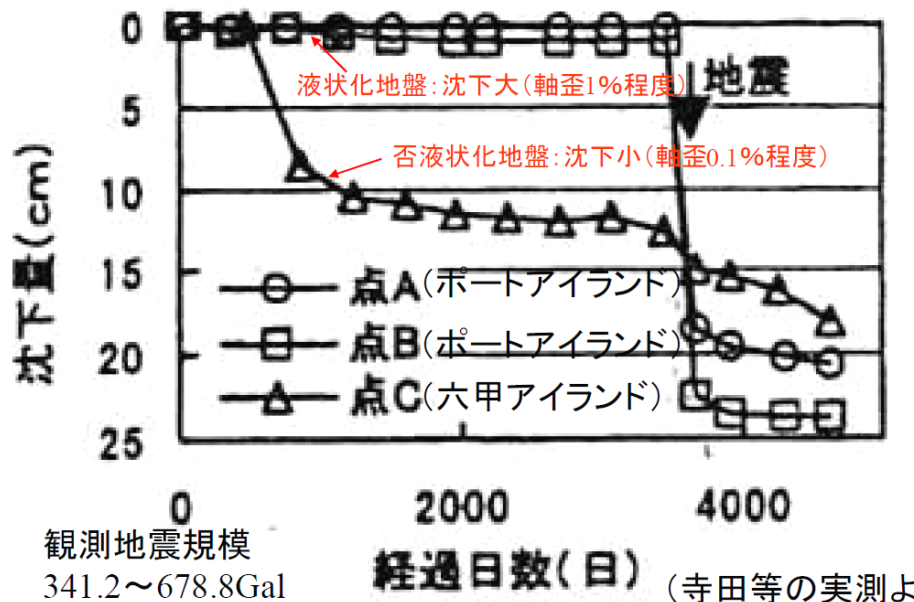


図-2.5 地震による埋立地の沈下実測例

文献2.1: 寺田邦雄「層別沈下計よりみた兵庫県南部地震による地盤の挙動」、日本建築学会大会梗概集、1998年9

事例3：アンダーピニング工法の妥当性が問われた事例

1) 事案の概要

盛土で造成された宅地に建つ木造2階建住宅（べた基礎）で不同沈下が生じた。不同沈下が生じていることに対する争いは無いが、アンダーピニング（鋼管圧入）工法による補修の妥当性が鑑定事項として問われた事案である。

2) 争点

（申立側）

- ① 沈下は進行しており、将来も不同沈下が進展する。
- ② 提案されているアンダーピニング（鋼管圧入）工法は、技術的にいろいろな問題があり、妥当な補修方法でない。解体して適正な基礎で再築する方法しかない。

（相手側）

- ① 沈下は収まってきており、不同沈下の進展は無い。
- ② 提案しているアンダーピニング（鋼管圧入）工法による補修は妥当な方法である。

3) 鑑定結果

- ① 宅地造成後2年弱で引渡された建物であるが、竣工後5年半頃の測量で8/1000程度東側に傾斜している。盛土は細粒分が1/3混じる礫混じり砂層であり、過去にも盛土されており地盤の沈下は今後も生じる可能性がある。
- ② 所定の杭長を押し込むには、途中で建物の自重では押し込めないような硬い中間層がある。敷地はまだ沈下しておりアンダーピニング工法で建物を支持しても、地盤沈下によって基礎底盤下に隙間ができ、鋼管杭だけで支持した形になる。建物の西と南側に擁壁があり、鋼管杭の圧入には擁壁を避けて施工する必要がある。しかし、基礎梁への偏芯や集中荷重に対する検討がなされていない。基礎底盤下に隙間ができるため鋼管杭が水平力を負担しなければならなくなるが、水平力に対する検討がなされていない。以上、提案されている工法は検討が不十分であり、杭基礎として扱うには妥当性があるとは評価できない。

4) 鋼管圧入工法の検討項目

鋼管圧入による不同沈下修正は、アンダーピニング工としてよく採用される工法である。安易な検討に基く対策案の提示が多いが、紛争の解決のためには、安心できる十分な検討に基く工法の提案が必要である。以下によく指摘されている重要な検討項目を示す。

- ① 杭基礎、併用基礎、直接基礎+地盤改良（地盤補強）等の支持形式を明確にし、力学的な検討を行う。
- ② 鋼管配置は原則的には柱下全て、中間に配置する場合は基礎梁の安全を検討する。部分的な配置で支持させるケースがあるが、基礎梁や沈下の検討が必要である。
- ③ 基礎梁や上部構造に過剰な負荷がかからないような施工管理が必要である。
- ④ 地盤沈下が継続している場合は、杭としての適切な検討を行う。
- ⑤ 擁壁等が近接する場合は、水平力に対する検討が必要である。

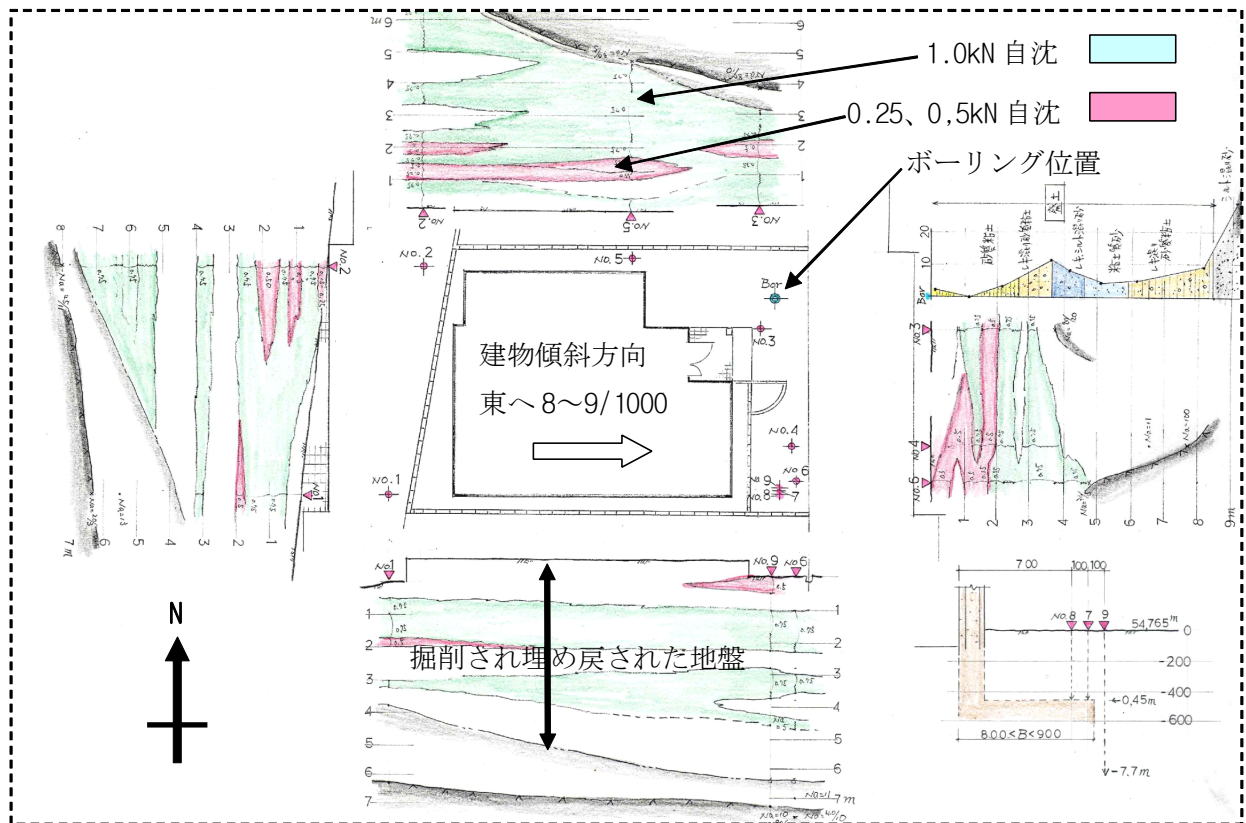


図-3.1 敷地地層の推定断面図

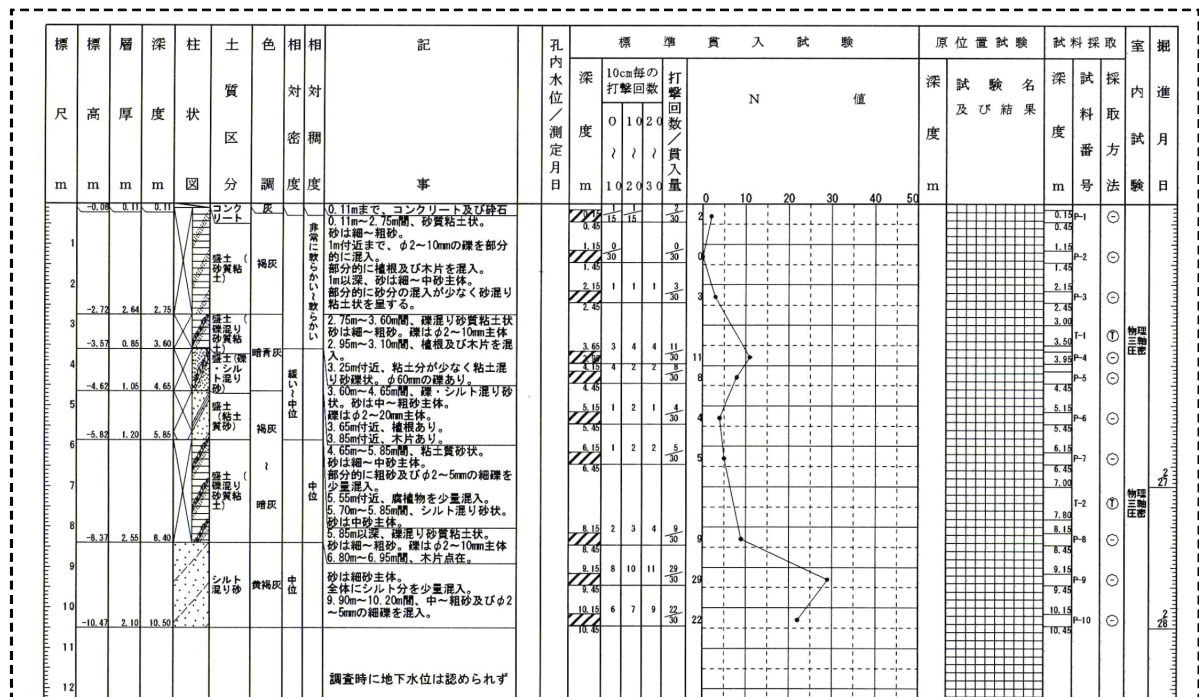


図-3.2 土質柱状図

計画されていた鋼管（φ 139.8 肉厚 5.0mm、長さ 8m/本、圧入鋼管合計 32 本）

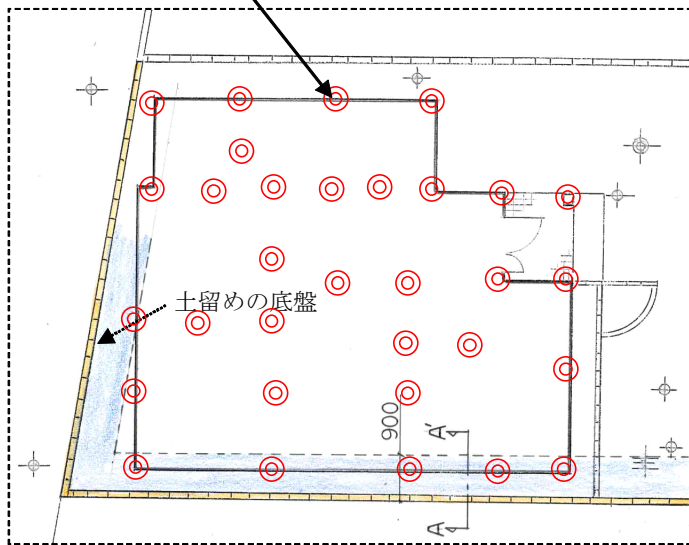


図-3.3 アンダーピング工と土留め底盤の関係

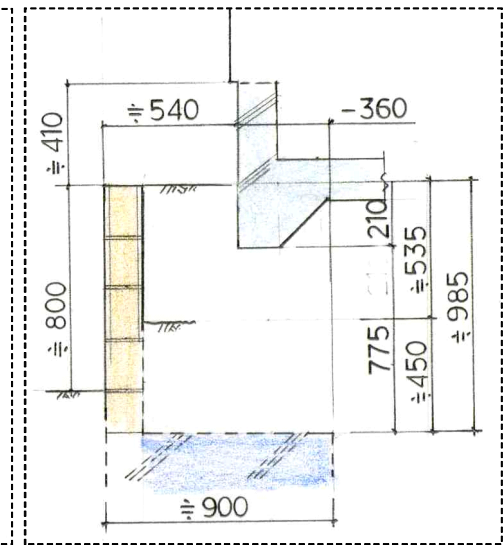


図-3.4 該当箇所の断面

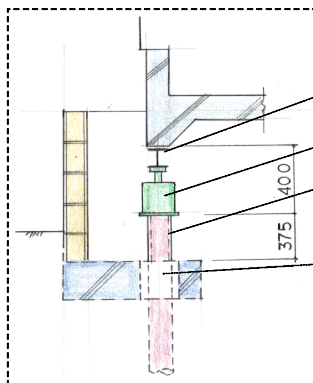


図-3.5 底盤を削孔しての押し込み

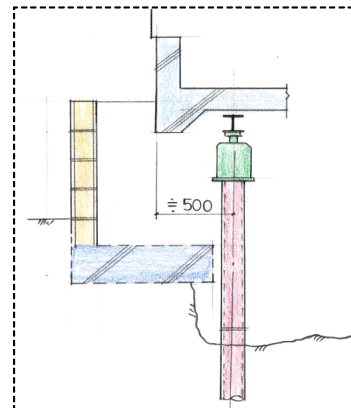


図-3.6 底盤を避けた位置での押し込み

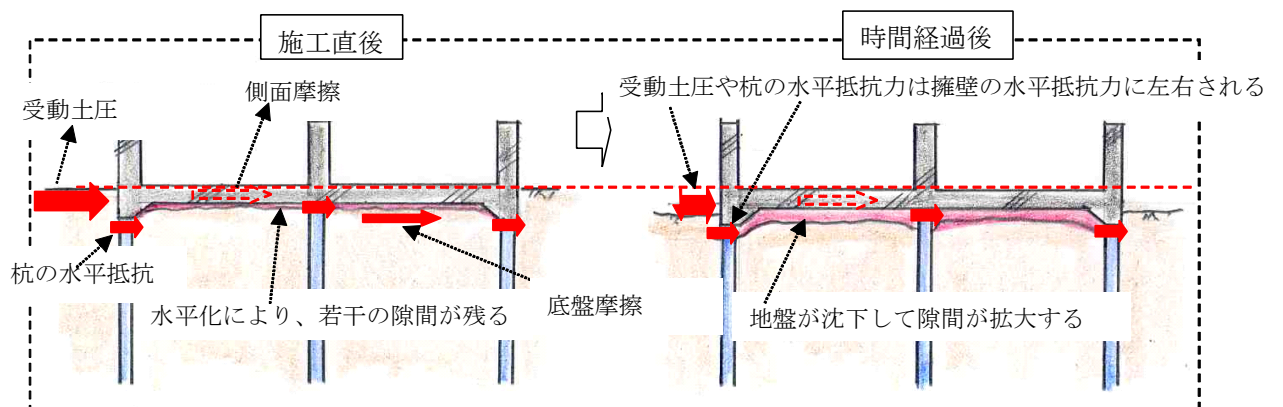


図-3.7 水平抵抗の模式図