

小規模建築物の沈下修復方法の手引き

2013年 第1版

特定非営利活動法人

住宅地盤品質協会

はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、尊い多くの人命を失いました。また、地盤の液状化現象や強い地震動の影響により、多くの家屋を失うと共に居住性や安全性を失った住宅も数多く見られました。

本協会員をはじめとして、沈下修復工事を施工する事業者により、建物の修復工事に努めてきましたが、一部に住宅所有者や近隣居住者とのトラブルが生じた例もみられました。トラブルの原因は、技術的な検討や施工管理が適切になされないまま工事がすすめられた場合や現場管理者の経験不足などが挙げられます。

沈下修復に関する技術的基準は、2008年に小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）の中で示されました。本協会では、その後の技術動向や実績を考慮し2012年10月に「小規模建築物の沈下修復方法の手引き（案）」を作成し、本協会員の方々からの意見を反映した本手引きを刊行いたしました。今後、改訂を加えより良い沈下修復基準を作成し、本事業の発展に寄与したいと思います。

2013年4月

NPO 住宅地盤品質協会
技術委員会

目次

1. 現地調査	P. 1
2. 修復計画	P. 5
3. 沈下修復工法	P. 9
3-1 鋼管圧入工法	P. 9
3-2 耐圧版工法	P. 16
3-3 注入工法	P. 22

巻末資料

薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針
建設省官技発第 160 号
昭和 49 年 7 月 10 日

1. 現地調査

修復計画の策定のため現地調査を行う。現地調査は次の2つに分類される。

- 1) 建物沈下調査および周辺状況調査
- 2) 地盤調査

現地調査の結果より、沈下継続の有無と建物沈下の発生原因の特定を行い、適切な工法選定を行い修復計画の作成を行う。

1) 建物沈下調査および周辺状況調査

修復計画の策定のために不同沈下の原因を特定と建物の傾斜状況、不同沈下量および修復すべきジャッキアップ量を求める調査を行う。表 1-1 には測定機器と測定できる内容を示す。

不同沈下による建築物の不具合は、変形角の発生に伴う基礎および上部構造のひび割れや変形などの構造耐力上の問題とともに、傾斜角による使用性や機能性も同時に問題となるため、建物外周部と建物内部（床）の沈下傾斜測定が重要である。

沈下測定は、内部の測定では基礎に近く堅固な床面を測定する。レーザーレベルを用いる場合が多く、見通せない箇所は盛り替えて建築物全体の不同沈下状況が把握できるように測定する。建物外周部を機械レベルで測定する場合は図 1-1 のように基礎天端から立ち上がりに逃げ墨を打って測定するか、水平に施工された外壁下端（モルタルを除く）などを測定する。建物内部の測定では、床面などに段差がある場合はフラットな面を想定して段差を補正し、各点の高低差がわかるように測定記録する。

また、液状化を含め地震動による地盤変状が不同沈下の原因の場合は、総沈下量が大きい。修復計画の策定では、修復すべきジャッキアップ量の大きさを考慮するために周辺地盤高さ、道路の高さ等も測定する。

建物の沈下測定結果は、沈下状況を分かりやすくするために図 1-2 に示すように沈下量や傾斜角を表記し、表 1-2 に示すように建物の傾斜状況を沈下量や傾斜角の状況から傾斜状況を評価する。

表 1-1 沈下測定と測定機器

不具合事象	測定機器	測定内容
基礎の沈下	水盛管(缶)	水平、傾きの測定
	レベル, レーザーレベル	水平、傾きの測定
床の傾斜	水準器, 勾配計	床などの部分的な傾斜の測定
壁・柱の傾斜	下げ振り (写真 1-1 参照)	壁・柱など構造物の傾斜の測定
基礎のひび割れ欠損	クラックスケール, 間隙ゲージ	ひび割れ(隙間)幅の測定
	鉄筋探査機	コンクリート中の鉄筋の探査
	反発度法試験器(リバウンドハンマー)	コンクリート強度の推定
	打診用ハンマー	モルタルやタイルの躯体からの浮き、剥離箇所の検査
	フェノールフタレイン溶液	コンクリートの中酸化深さの測定

引用：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）



写真 1-1 下げ振りによる測定

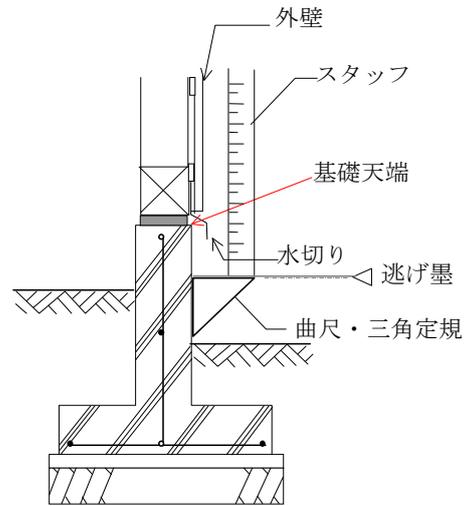


図 1-1 外部レベル測定

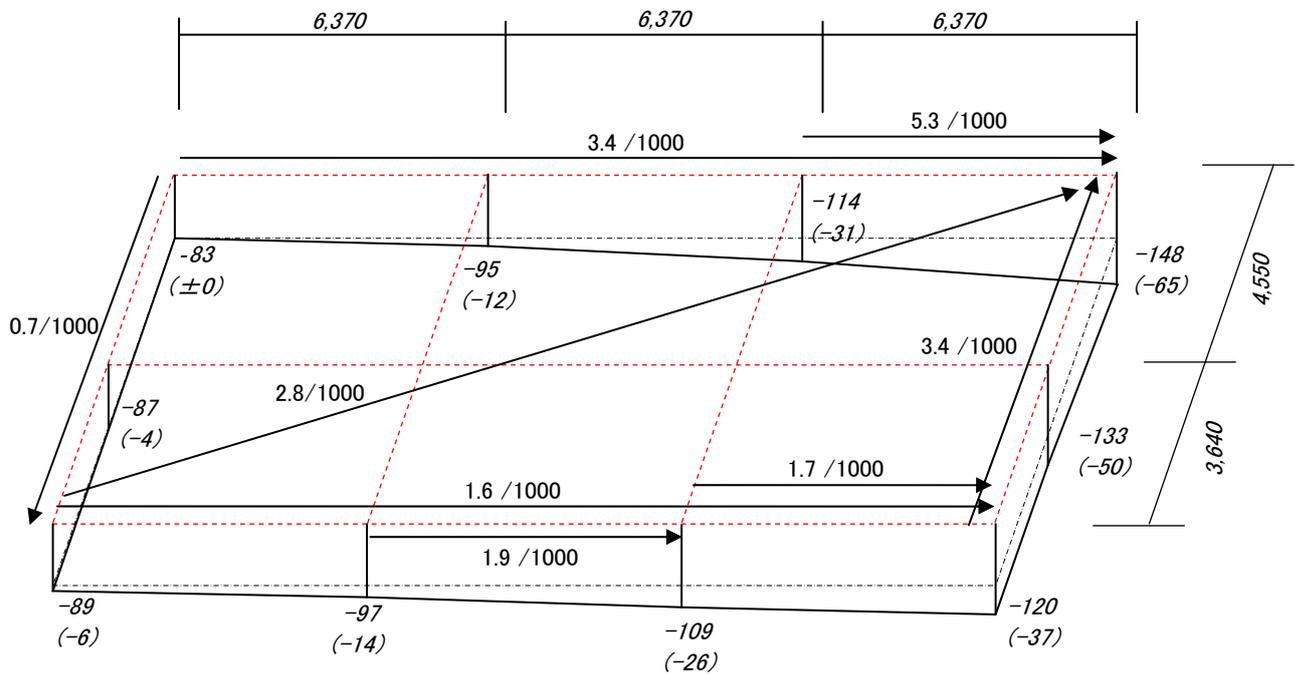


図 1-2 建物の傾斜状況

単位 (mm)

表 1-2 評価結果例

項目	実測値	許容値	評価	レベル区分	備考
(最大)傾斜角	5.3 /1,000	6/1,000	OK	2	小規模指針 表 10.1.1
変形角	1.9/1,000	5/1,000	OK	1	小規模指針 表 10.1.2
沈下量	148 mm	25 mm	NG	—	建築基礎構造設計指針表 5.3.6
相対沈下量	12.1 mm	10 mm	NG	—	建築基礎構造設計指針表 5.3.5
沈下形状	傾斜角			小規模指針 図 10.1.2	
損傷程度	レベル区分 2			小規模指針 表 10.1.1	

引用：小規模建築物基礎設計例集（日本建築学会）

2) 地盤調査

沈下修復計画の策定のために地盤調査を行う。可能性のある修復方法が検討可能な地盤調査を行うことが望ましい。また、不同沈下の原因が既往の資料では特定できない場合や沈下が継続している可能性がある場合は、慎重に地盤調査の計画を作成する。

表 1-3 には、沈下修復計画の中で行われる地盤調査の方法とその特徴を示す。

表 1-3 地盤調査の方法と特徴

調査方法	得られる情報	沈下修復計画に必要な確認事項
ボーリング調査 (SPT 併用)	N値 地下水位 土層判別	鋼管圧入杭の支持層厚確認、支持力算定 耐圧版直下の支持地盤の確認、支持力度算定
オートマチックラムサウン ディング試験	Nd値	鋼管圧入杭の支持層確認、支持力算定 耐圧版直下の支持地盤の確認、支持力度算定
SWS 試験	貫入抵抗値 (W_{sw} , N_{sw})	耐圧版直下の支持地盤の確認、支持力度算定
土質試験	各種土質定数	耐圧版直下の支持地盤の支持力度算定 沈下量計算
三成分コーン貫入試験	先端抵抗 周面摩擦 間隙水圧 土層判別	鋼管圧入杭の支持力算定 耐圧版直下の支持地盤の確認、支持力度算定 沈下量計算

3) 沈下継続の有無と不同沈下の発生原因の特定

沈下継続の有無と不同沈下の発生原因の特定は、修復工法の選定を行う上で重要な項目である。不同沈下の原因を考えた場合、盛土、擁壁および腐植土が三大要因である。次頁は、沈下原因の三大要因に分類した解説した。

なお、地震の影響によって生じた不同沈下は、主に次の3つがあげられる。

- ・地盤の液状化・側方流動による地盤変状
- ・地震動による擁壁、土留めの変状による建物の沈下
- ・谷埋め盛土地盤などのすべりによる地盤変状

4) 沈下原因

(1) 盛土

住宅の場合、それ自体の重量は比較的軽いことから、建物荷重が原因となる不同沈下よりむしろ地盤自体の沈下（変形）に追随した不同沈下の方が多い。特に、造成時に行われる盛土荷重は地盤自体を沈下させる原因となりやすい。具体的には下図に示す軟弱地盤上の盛土形態、丘陵部の造成盛土形態、あるいは盛土の品質不良などの原因がある。

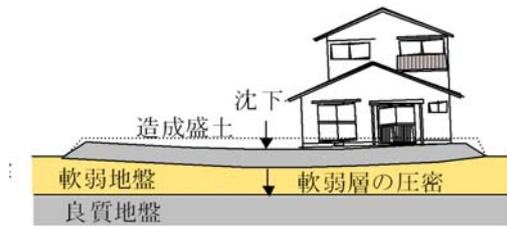


図 1-3 盛土の不同沈下

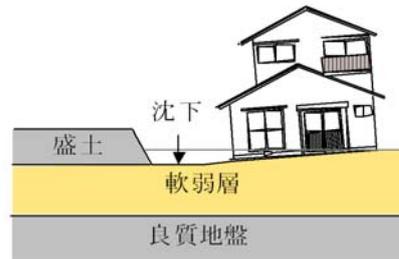


図 1-4 近接盛土による不同沈下

(2) 擁壁

前面にはらみ出し倒れている（図 1-5 参照）・沈下している・ひび割れしている・目地が開いているなど、擁壁の変状は地盤に起因していることが多い。したがって、建物が近接する場合には注意を要する。特に、壁高 2m 以下の小規模な場合は構造計算がされていないものが多く、擁壁の変状が原因となる場合が多い。また、擁壁に接近した建物では、擁壁背面の埋め戻し土に跨って建てられることが多く、不同沈下の原因となる可能性が高い。

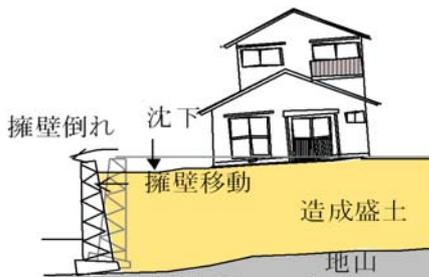


図 1-5 擁壁の変状

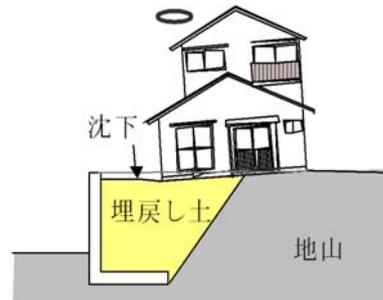


図 1-6 埋め戻し不良

(3) 特殊土（腐植土）

腐植土とは有機質土の俗称である。腐植土は水生植物などの有機物が分解して（未分解のものもある）土壌と混じり合ってきた黒～暗褐色の土のことで、含水比が高く間隙比が大きいので、小さな荷重に対しても圧縮性が非常に高い。また、沈下が長期間継続する（二次圧密も大きい）。このため、沈下に対する取扱いが厄介で、不同沈下の原因になりやすい。また、腐植土はセメント系固化材との相性が悪く、腐植土による固化不良が不同沈下の原因になる場合もある。

2. 修復計画

修復とは、沈下障害のみならず基礎の不具合に対して、必要な技術基準に適合し、建築物を安全に支えられる性能を有する基礎または支持地盤となるように補修または補強することと定義されている。したがって、沈下修復後の建物は、それぞれの基礎形式（支持機構）で安全に支えられるように計画されていてなければならない。

図 2-1 には、基礎の修復方法選定手順と修復後の基礎形式が示されている。沈下修復を計画するにあたり、沈下原因から継続性の有無を判断して目的に応じた沈下修復工法を選定しなければならない。沈下修復工法は、ジャッキアップ時の反力確保が課題となる。したがって、修復計画では、沈下の継続対応策と反力確保を総合的に検討する必要がある。

また、基礎に損傷がある場合には、基礎躯体修復工法も同時に必要となるが、これらの場合の多くは基礎剛性、支持力に不足が生じているので、損傷修復とともに基礎性能の向上を目的とした工法と併せて選択する必要がある。

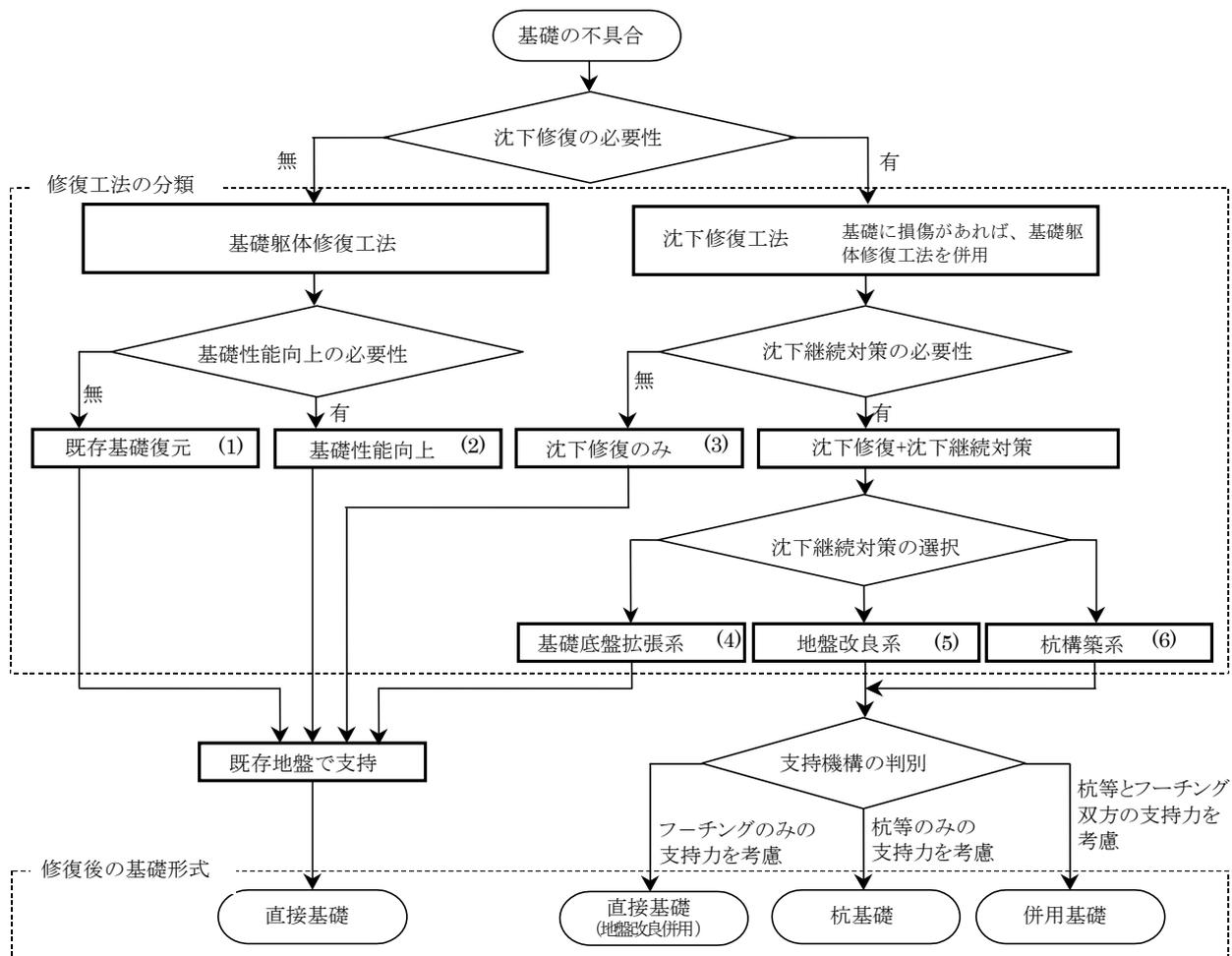


図 2-1 修復工法選定手順

引用：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

1) 沈下修復の必要性の判定

沈下修復の要否を判断する場合は、沈下形状を判定し、沈下程度が許容できるか否かを判断すると共に、基礎の損傷状況と構造耐力、上部構造の仕口部の変形や隙間、内外装の損傷程度、建具の建付や開閉などの不具合程度、建具の流れや床の傾斜の体感具合など、沈下などの計測結果ばかりでなく不具合事象の程度などを勘案の上、総合的に検討して判断する必要がある。表 2-1 には、沈下修復の要否判定項目をまとめたものである。

表 2-1 沈下修復要否判定表

沈下傾斜の測定結果から判断する項目		該当
	基礎天端または基礎に直近の床・敷居などの現状において、概ね 6/1000*程度以上の傾斜が認められる。	
	基礎天端または基礎に直近の床・敷居などの現状において、概ね 5/1000*程度以上の変形が認められる。	
	基礎天端または基礎に直近の床・敷居などの両端あるいは部分において、概ね 25 mm*以上程度の不同沈下量が認められる。	
④	基礎天端または基礎に直近の床・敷居などの現状において、概ね 10 mm程度以上の相対沈下量が認められる。	
⑤	柱の傾斜が概ね 6/1000*程度以上の傾斜が認められる。	—
現象面から判断する項目		
①	基礎の損傷が著しく破断が生じ、今後構造的な耐力が期待出来ない。	
②	木工仕口部分に隙間等が見られる。	
③	建具に調整補修が出来ない程度の建付および開閉の不良が生じている。	
④	内外壁の損傷が下地面にまで及んでいる。	
⑤	「床に置いたものが転がる」「建具が自然に動く」「水はけや排水不良」などの事象がある。	
⑥	床の傾斜等、建物の傾斜を体感できる。	
要否の判定結果(沈下傾斜・現象面のそれぞれから 2 項目以上該当する場合)		

引用：小規模建築物基礎設計例集（日本建築学会）

2) 修復工法の選定

主な修復工法を図 2-2 に示した。また、それぞれの修復方法の概要を表 2-2 にまとめた。

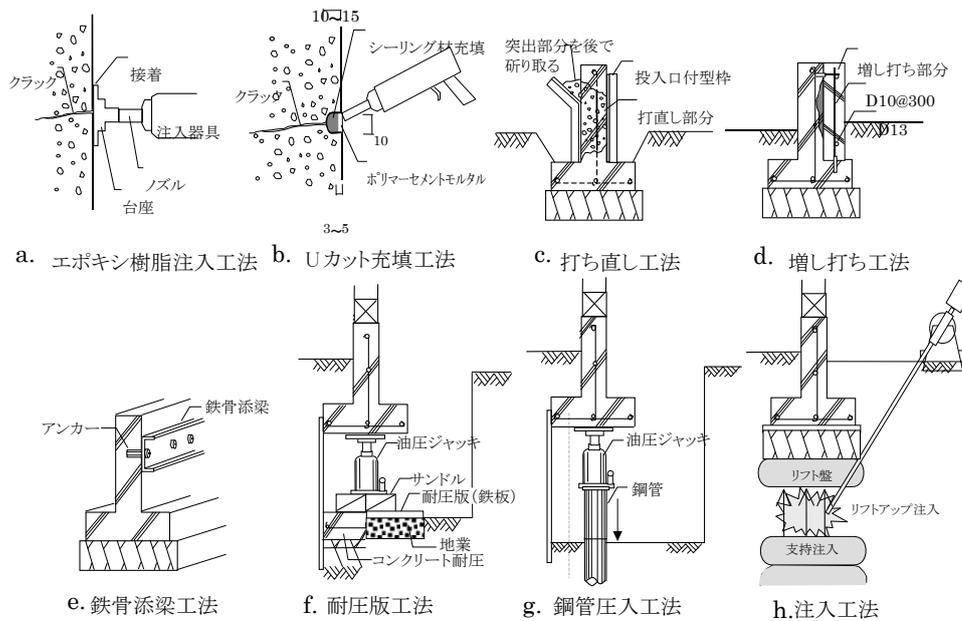


図 2-2 基礎の修復工法例

引用：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

表 2-2 修復方法の種類と分類例

A. 基礎躯体修復工法

分類	工 法	概 要	区分 図 2-1	図 図 2-2
損傷 補修	樹脂注入工法	専用器具によるひび割れ部へのエポキシ樹脂注入. 幅 1mm 程度以下の挙動の少ない場合に適用.	(1)	a
	Uカット充填工法	ひび割れ部を U 字型にカットしてシーリング材を充填. 幅 0.2 mm 程度以上の挙動性のある場合に適用.	(1)	b
	シーリング工法	ひび割れに沿ってシーリング材を塗布, 幅 0.2 mm 以下に適用	(1)	
	充填工法	欠損部にエポキシ樹脂モルタルまたはポリマーセメントモルタル等を充填. 比較的大きな欠損に適用.	(1)	
躯体 再施工	躯体再施工	既存基礎解体後新設(上部躯体のジャッキアップ併用)	(1.2.4)	
	打ち直し工法	損傷部位を部分的に解体打直し. 大きな欠損に適用.	(1)	c
躯体 補強	増し打ち工法	ひび割れや欠損, 爆裂等の損傷及び耐力不足に対して基礎側面に断面寸法を増やす形で増し打ちして補強修復.	(2)	d
	鉄骨添え梁補強	剛性の向上を目的に基礎側面に鉄骨添え梁を設置 .	(2)	e
	アラミド繊維補強	アラミド繊維の貼り付けによる基礎梁の靱性向上.	(2)	
底盤 拡張	布基礎底盤拡張	接地面積の増大による接地圧の減少. 全ての底盤を一体化してベタ基礎とする場合もある	(4)	

B. 沈下修復工法

分類	工 法	概 要	反力	継続対策	区分 図 2-1	図 図 2-2
基礎 から UP	耐圧版工法	基礎下を順次掘削して仮受けと打設を繰り返して良質な地盤面に一体の耐圧版を構築し, 耐圧版を反力にジャッキアップする.	C・E	○	(3)	f
	鋼管圧入工法	基礎下を掘削して建物荷重により 1m 程度の管杭を継ぎ足しながらジャッキで圧入する. 支持層まで貫入後, これを反力にジャッキアップする.	A・B	◎	(5) (6)	g
	ブロック圧入工法	基礎下を掘削し建物荷重により既製コンクリートブロックをジャッキで圧入する. 圧入により地盤を締め摩擦抵抗を反力にジャッキアップする.	A・B	◎	(5)	
	薬液等注入工法	基礎下へグラウトや薬液等を注入し, 注入・膨張圧によりアップする.	D	○	(5)	h

反力機構 A: 支持杭 B: 地盤貫入物による周辺摩擦及び圧密化 C: 底盤拡張による接地圧減少
D: 地盤改良効果 E: 良好地盤への深礎化

継続対策 ◎: 効果的 ○不確定要素があるが効果的 ×: 不適

引用: 小規模建築物基礎設計指針 (日本建築学会)

さらに具体的な修復工法選定フローを図 2-3、図 2-4 に示した

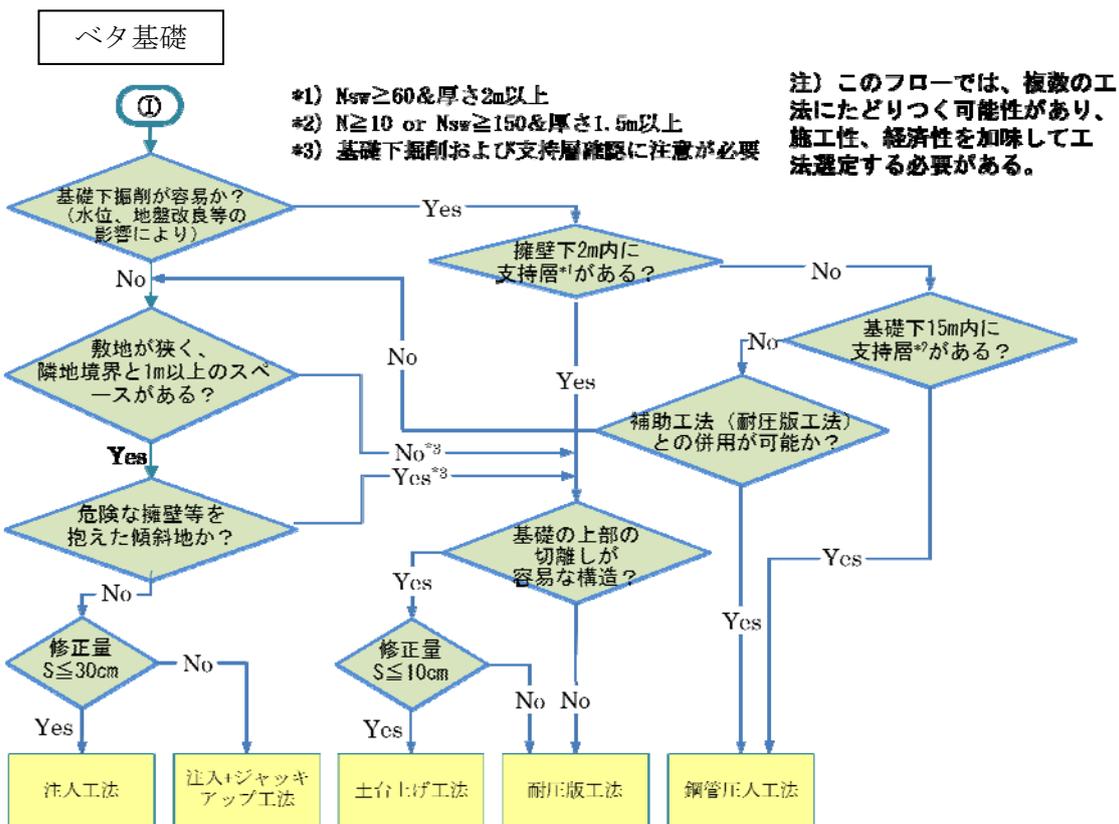


図 2-3 ベタ基礎の場合の修復工法の選定フロー

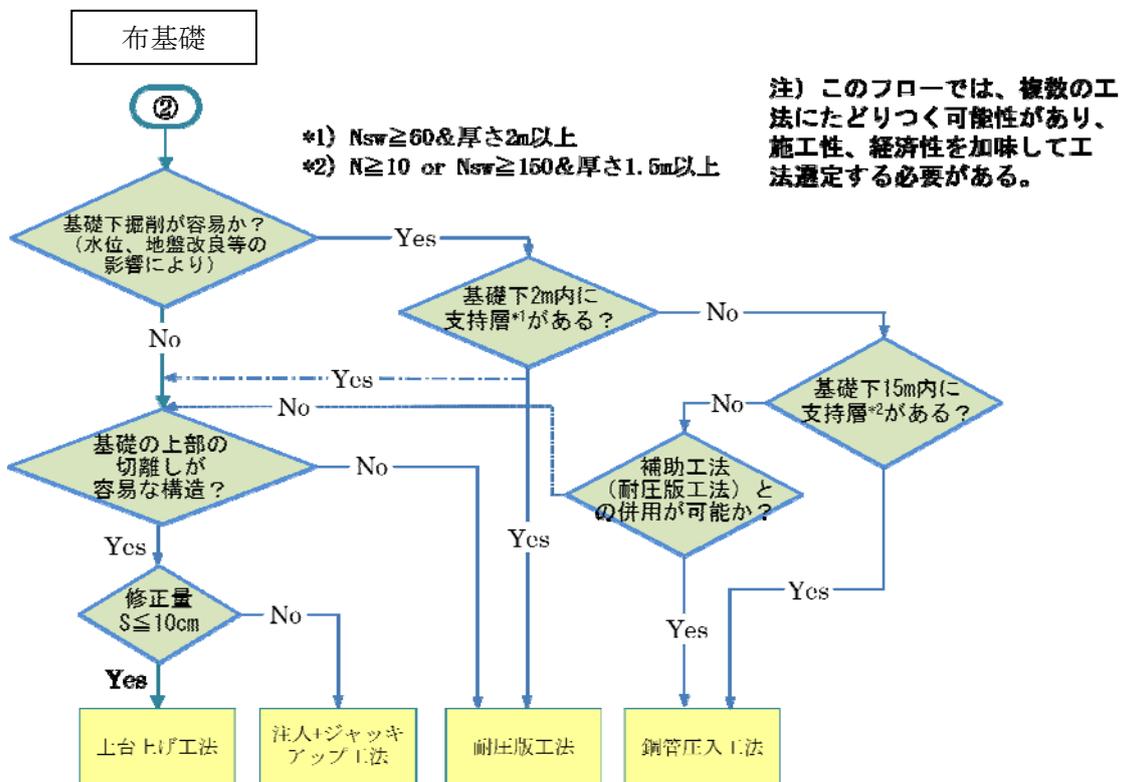


図 2-4 布基礎の場合の修復工法の選定フロー

3. 沈下修復工法

沈下修復工法は、近年多くの施工法が提案されているが、次の3工法の施工実績が多い。本手引きでは、この3工法について述べる。

鋼管圧入工法

耐圧版工法

注入工法

3-1 鋼管圧入工法

1) 工法の概要

基礎下を掘削して建物荷重により0.7m程度の鋼管杭を継ぎ足しながらジャッキで圧入する。支持層まで貫入後、これを反力にジャッキアップする。

2) 設計方法

(1) 建物荷重

鋼管杭圧入工法に用いる建物荷重は、新築時の構造計算書から求める。ただし、新築時の設計図書に荷重の計算がない場合は、表3-1-1に示した荷重の目安値を参考に建物荷重を安全側に推定して計算に用いる。

表3-1-1 上部構造荷重の目安値（建築面積当たり）

$w = 4.0\text{kN/m}^2$	一般地域の平屋
7.0	一般地域の2階建，多雪区域（積雪100cm）の平屋
10.0	一般地域の3階建，多雪区域2階建
12.5	多雪区域の3階建

注：上記の荷重は、1階床荷重および基礎の自重は含まれていない。

引用：小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）

(2) 鋼管の長期許容支持力の算定

- ・地盤から求まる長期許容支持力の算定

$$R_{al} = \frac{1}{3}(R_p + R_f) \quad (\text{kN}) \quad (3.1) \text{ 式}$$

R_{al} ：鋼管圧入工法の長期許容鉛直支持力（kN）

R_p ：鋼管先端部における極限先端支持力（kN）

R_f ：鋼管周面の地盤による極限摩擦力（kN）

① 極限先端支持力

$$R_p = \alpha \overline{N} A_p = 200 \overline{N} A_p \quad (3.2) \text{ 式}$$

\overline{N} : 鋼管先端部の平均 N 値

A_p : 鋼管の先端断面積 (m²)

なお、粘性土の場合は下記式を用いることもある。

$$R_p = 6 \times c \times A_p \quad (kN)$$

c : 鋼管先端下部粘性土地盤の粘着力 (kN/m²)

② 極限摩擦力

$$R_f = D \times \sum (\tau_d \times L_i) \times \pi \quad (kN) \quad (3.3) \text{ 式}$$

D : 鋼管径 (m)

τ_d : 鋼管に作用する各層の極限周面摩擦度 (kN/m²)

粘性土の場合 $\tau_d = c$

砂質土の場合 $\tau_d = 10N/3$

L_i : 各層の層厚 (m)

・ 鋼管から求まる長期許容支持力の算定

$$R_{a2} = \frac{1}{3} \times F_C \times A_p (1 - \alpha_1) \quad (kN) \quad (3.4) \text{ 式}$$

R_{a2} : 鋼管の長期許容圧縮力 (kN)

F_C : 設計基準強度

$$0.01 < \frac{t_e}{r} < 0.08 \quad F_C = F (0.8 + 2.5 \times \frac{t_e}{r})$$

$$\frac{t_e}{r} \geq 0.08 \quad F_C = F$$

F : 鋼管の材質から決まる基準強度 F 値 (kN/m²)

t_e : 腐食しろを除いた杭の肉厚 (m) (腐食しろは 1 mm とする)

r : 鋼管の有効半径 (m)

A_p : 鋼管の有効断面積 (m²)

α_1 : 細長比による低減率

$L/D > 100$ の場合、 $\alpha_1 = (L/D - 100)/100$ L : 鋼管長 (m) D : 鋼管の有効径 (m)

(3) 基礎梁の安全性の検討

基礎の構造安全性については、杭間に生じる曲げおよびせん断応力に対する基礎立上

り部分の構造設計を行う。

その検討モデルは、図 3-1-1 とし、設計用荷重は基礎自重を含む鋼管杭間の鉛直荷重を想定する。設計応力の算定については、端部の固定度ならびに基礎立上り部分が連続する場合の連続端の曲げモーメントなどを考慮した応力モデルは図 3-1-2 による。なお、両端固定梁の固定端モーメントは、2 スパンモデルの最大となる $1.3C$ とする。

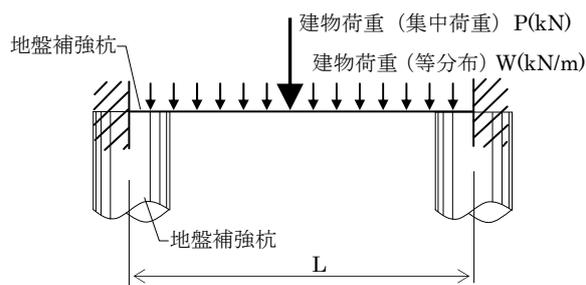


図 3-1-1 両端固定梁モデル

固定端の曲げモーメント：
$$C = \frac{WL^2}{12} + \frac{PL}{8} \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$
 (3.5) 式

中央部の曲げモーメント：
$$M_0 = \frac{WL^2}{8} + \frac{PL}{4} \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$
 (3.6) 式

せん断力：
$$Q = \frac{WL}{2} + \frac{P}{2} \text{ (kN)}$$
 (3.7) 式

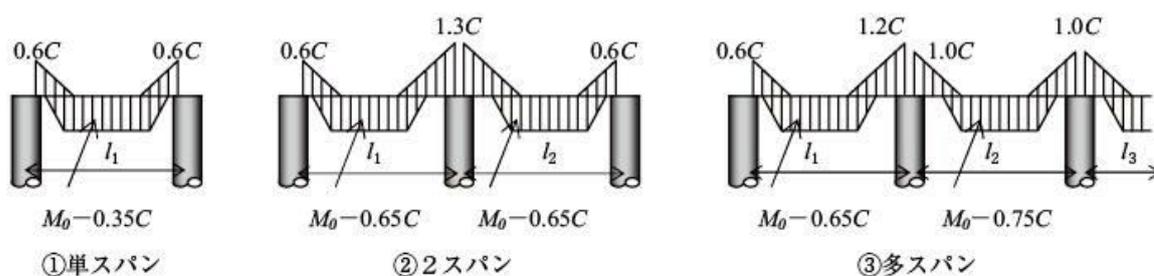


図 3-1-2 連続する梁の正負曲げモーメント図

(4) 鋼管の配置例

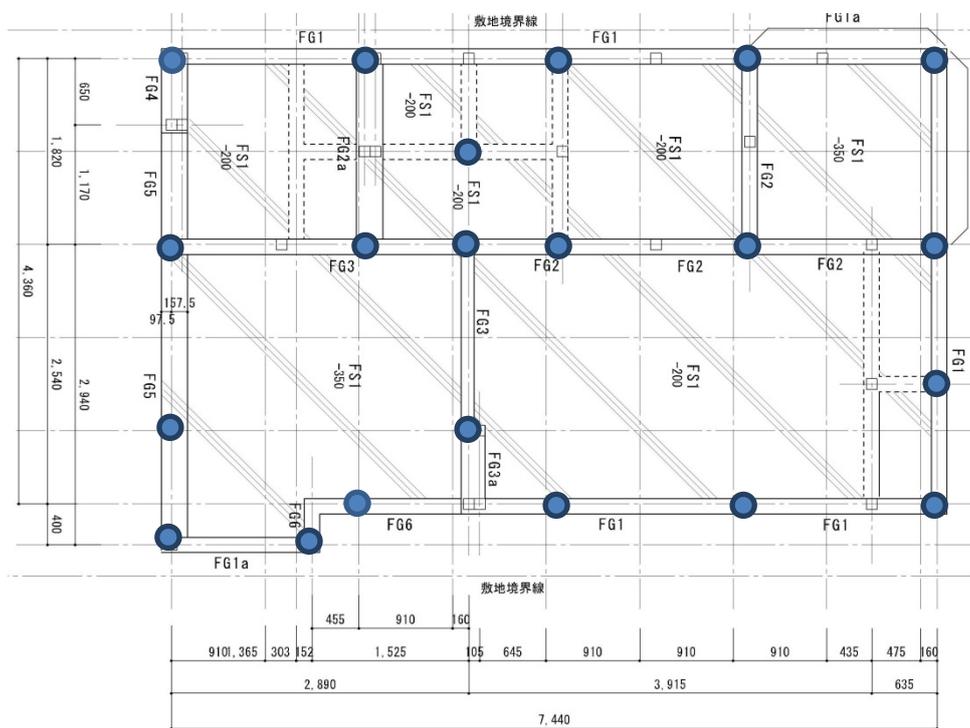


図 3-1-3 鋼管の施工位置 (例)

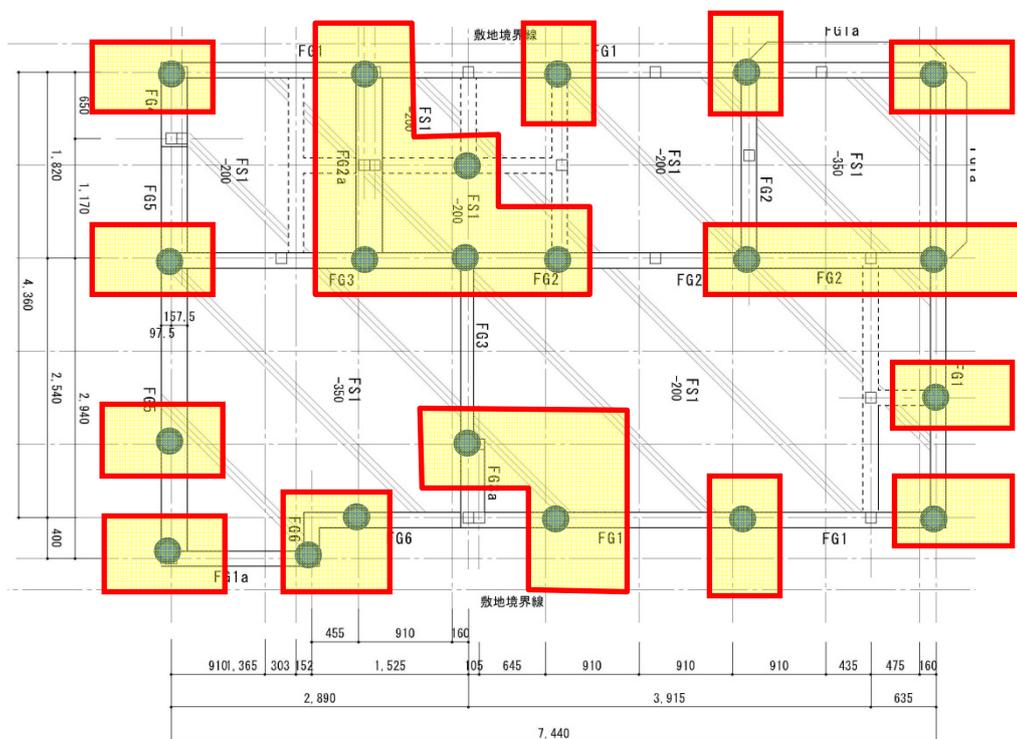


図 3-1-4 掘削区 (例)

3) 施工手順

本工法の作業手順を以下のフローチャートに示す。

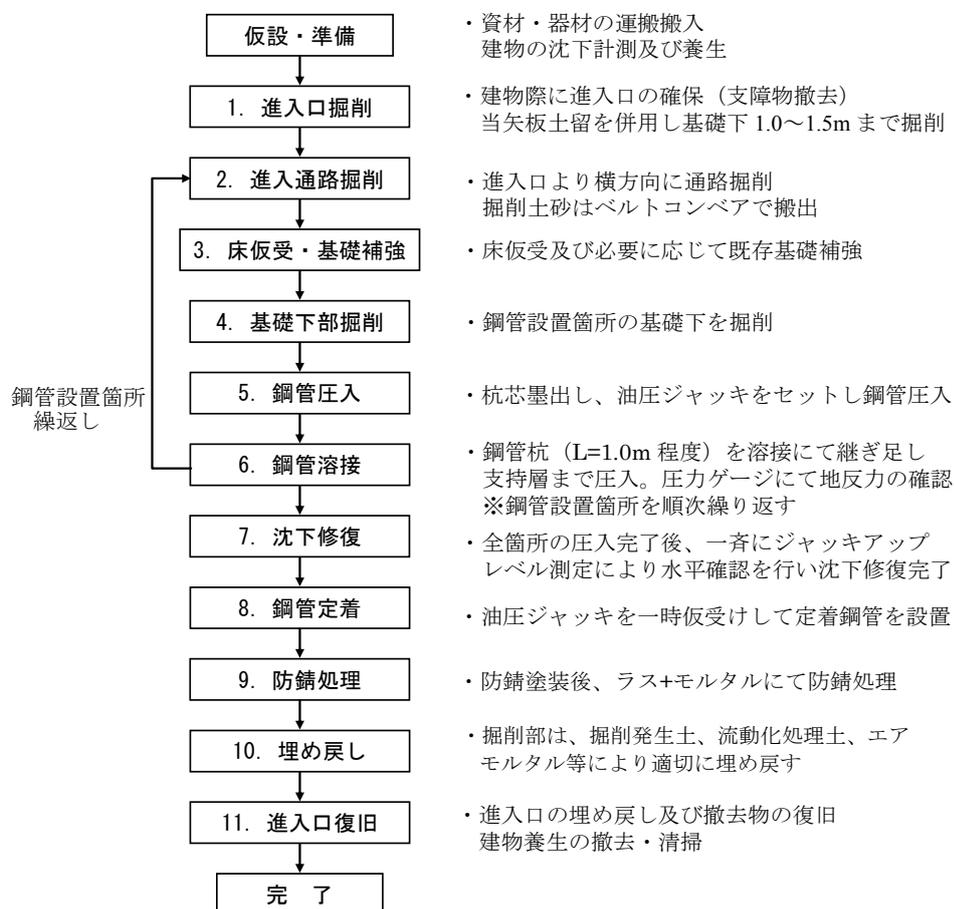


図 3-1-5 鋼管杭圧入工法の施工手順



写真 3-1-1 基礎下部掘削



写真 3-1-2 鋼管圧入状況



写真 3-1-3 鋼管圧入状況
(鉛直確認)



写真 3-1-4 支持台設置状況



写真 3-1-5 ジャッキアップ



写真 3-1-6 ジャッキアップ後



写真 3-1-7 手動ジャッキ



写真 3-1-8 鋼管定着状況



写真 3-1-9 埋戻し注入機材

4) 施工上の留意点

○鋼管の継手

鋼管の継手は、性能を確認した機械式継手または裏当て金物を用い突き合わせ溶接とし、耐力低減のない継ぎ手とする。継ぎ手部の詳細を図 3-1-6、写真 3-1-10 に示す。写真 3-1-11、12 には、継手部をネジ加工した鋼管や機械式継手を使用している例を示す。地下水位が高く、溶接作業が困難な場合には、ネジ加工した鋼管や機械式継手の利用は有効である。

鋼管の継ぎ手溶接に際しては天候気温を判断し、電流電圧・溶接速度・層数・ビート表面の凸凹・アンダーカットの深さ・余盛高さ・養生温度・養生時間を適切に管理する。

○鋼管圧入

圧入力は鋼管の短期許容応力度以下とし、基礎梁及び上部構造の有害な変形が生じないように適切に管理を行う。基礎梁間の杭の圧入に際しては十分に圧入荷重を管理し、必要に応じて鋼材などで基礎梁の補強を行う。圧入荷重および地盤条件を考慮し、打ち止めとする。

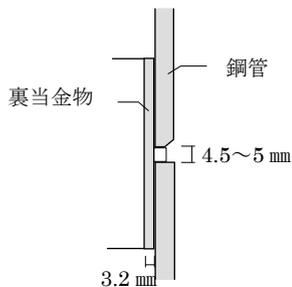


図 3-1-6 鋼管継手溶接と裏当て金物



写真 3-1-10 裏当て金物



写真 3-1-11 ネジ加工の例



写真 3-1-12 機械式継手の例

○沈下修復および定着

打ち止めを確認後、沈下修復を行い、油圧ジャッキから定着鋼管に盛替えて定着処理を行う。

ジャッキアップは出来る限り均一に少量ずつ行い、ジャッキ圧力を適切に管理し、基礎梁及び上部構造の有害な変形が生じなかつ適切に管理を行う。ジャッキアップ完了後の定着鋼管は、適切に防錆処理を行う。

○埋め戻し

埋め戻しは、掘削発生土、流動化処理土、エアモルタル等を用いて行われることが多いが、鋼管と地盤及び基礎が一体化となるように適切に埋め戻す。発生土で埋め戻す場合は、転圧締め固めを入念に行い、基礎との空隙部は流動化処理土等で充填する。

3-2 耐圧版工法

1) 工法の概要

基礎下を掘削して耐圧版（0.5～0.6m程度以上の鉄板）を設置、建物荷重を利用して油圧ジャッキで耐圧版に加圧し、地盤反力を確認する。所定の位置に耐圧版を設置し、これを反力に一斉にジャッキアップを行い建物の水平調整を行う。

2) 設計方法

(1) 建物荷重

建物荷重は、新築時の構造計算書から求める。ただし、新築時の設計図書に荷重の計算がない場合は、表 3-1-1 に示した荷重の目安値を参考に建物荷重を安全側に推定して計算に用いる。

(2) 耐圧版の許容支持力の算定

ジャッキアップ時（仮受け時を含む）は、耐圧版直下の地盤の短期許容支持力度で建物荷重を支える。沈下修正が完了し、定着後にジャッキアップによる空隙や作業孔を埋め戻した後は、直接基礎による地盤の長期許容支持力度で建物荷重を支えるものとする。

○仮受け時及びジャッキアップ時の地盤の短期許容支持力度の算定

$${}_s q_a = \frac{2}{3} (\alpha c N_c + \beta \gamma_1 B N_c + \frac{1}{2} \gamma_2 D_f N_q) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3.8) \text{ 式}$$

${}_s q_a$: 短期許容支持力度 (kN/m²)

α, β : 基礎形状の形状係数・・・(耐圧版の形状より表 3-2-1 より求める)

表 3-2-1 基礎の形状係数

基礎底面の形状	連続	正方形	長方形	円形
α	1.0	1.2	$1.0 + 0.2 \frac{B}{L}$	1.2
β	0.5	0.3	$0.5 - 0.2 \frac{B}{L}$	0.3

B : 長方形の短辺長さ, L : 長方形の長辺長さ

c : 支持地盤の粘着力 (kN/m²)・・・(耐圧版直下の粘着力)

N_c, N_r, N_q : 粘着力、基礎幅、根入れ効果に起因する支持力係数、内部摩擦角 ϕ の関数
表 3-2-2 より求める。

表 3-2-2 支持力係数

支持力 係数	内部摩擦角 ϕ									
	0度	5度	10度	15度	20度	25度	28度	32度	36度	40度以上
N_c	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	25.8	35.5	50.6	75.3
N_γ	0	0.1	0.4	1.1	2.9	6.8	11.2	22.0	44.4	93.7
N_q	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	14.7	23.2	37.8	64.2

この表に掲げる内部摩擦角以外の内部摩擦角に応じた N_c, N_γ, N_q は、表に掲げる数値をそれぞれ直線的に補完した数値とする。

- γ_1 : 支持地盤の土の単位体積重量 (kN/m³) . . . (耐圧版より下方の土)
 γ_2 : 根入れ部分の土の単位体積重量 (kN/m³) . . . (耐圧版より上方の土)
 (γ_1, γ_2 は地下水位以下の場合には水中単位体積重量を用いる)
 B : 基礎幅 (短辺幅) (m) . . . (耐圧版の短辺)
 D_f : 根入れ深さ (m) . . . 耐圧版の設置状況から $D_f=0$ mとする。
 ϕ : 内部摩擦角 (度) ただし $\phi \leq 40^\circ$

$$\phi = \sqrt{20N} + 15$$

N : N 値 (耐圧版下の地盤)

○定着後の地盤の長期許容支持力度の算定

$${}_L q_a = \frac{1}{3}(\alpha c N_c + \beta \gamma_1 B N_c + \gamma_2 D_f N_q) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3.9) \text{ 式}$$

- ${}_L q_a$: 基礎直下の地盤の長期許容支持力度 (kN/m²)
 α, β : 基礎形状の形状係数 . . . (基礎形状より表 3-2-1 より求める)
 c : 支持地盤の粘着力 (kN/m²) . . . (基礎直下の粘着力)

N_c, N_r, N_q : 粘着力、基礎幅、根入れ効果に起因する支持力係数、内部摩擦角 ϕ の関数
 表 3-2-2 より求める。

- γ_1 : 支持地盤の土の単位体積重量 (kN/m³) . . . (基礎底面より下方の土)
 γ_2 : 根入れ部分の土の単位体積重量 (kN/m³) . . . (基礎底面より上方の土)
 (γ_1, γ_2 は地下水位以下の場合には水中単位体積重量を用いる)
 B : 基礎幅 (短辺幅) (m) . . . (基礎の短辺)
 D_f : 根入れ深さ (m)
 ϕ : 内部摩擦角 (度) ただし $\phi \leq 40^\circ$

$$\phi = \sqrt{20N} + 15$$

N : N 値 (基礎底盤下の地盤)

○層状地盤の支持力度の計算法

地中応力の影響範囲は基礎幅の 2 倍程度の深さであり、定着後の地盤の長期許容支持力度の算定を検討する場合に基礎幅と地盤状況により層状地盤として扱う。

(3.10) 式は、下部層に生じる応力を求める式、(3.11) 式は砂層の下部にある粘性土層の長期許容支持力度の計算式である。

$$p' = \frac{p \cdot B \cdot L}{(B + Df') \times (L + Df')} + \gamma_1 \cdot Df' \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3.10) \text{ 式}$$

$$q_a' = \frac{1}{3} \{ \alpha \cdot (5.1 \cdot c) + \gamma_1 \cdot Df' \} + \gamma_1 \cdot Df' \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3.11) \text{ 式}$$

P' : 上部層を伝わって下部層に生じる応力 (kN/m²)

p : 基礎底版に生ずる応力 (kN/m²)

q_a' : 下部粘性土の長期許容支持力度 (kN/m²)

B : 基礎短辺幅 (m)

L : 基礎長辺幅 (m)

Df : 根入れ深さ (m)

Df' : 基礎底面から下部粘性土層までの深さ (m)

γ_1 : 砂層の単位体積重量 (kN/m³)

α : 変状係数

c : 粘性土の粘着力 (kN/m²)

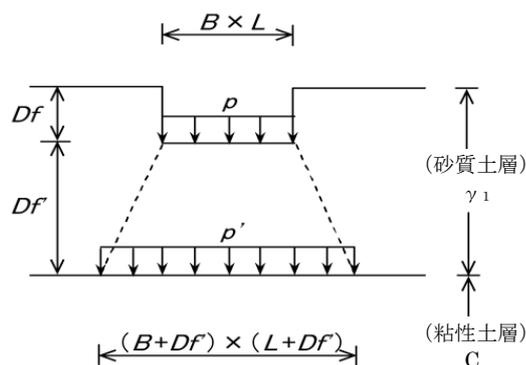


図 3-2-1 層状地盤の略算法

(3) 耐圧版の配置例

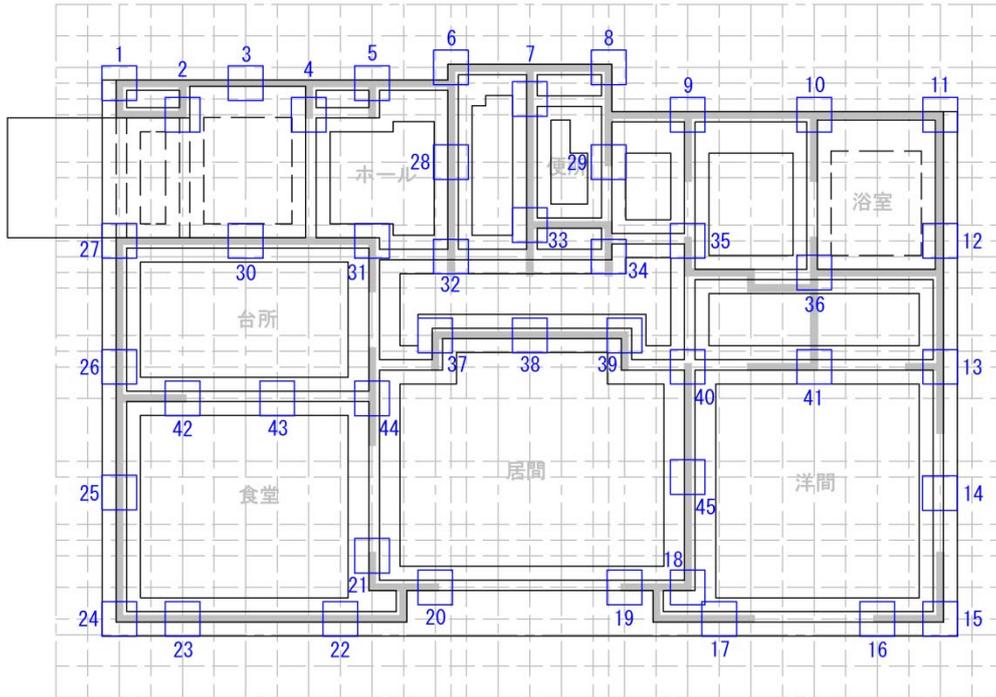


図 3-2-2 耐圧版の施工位置 (例)

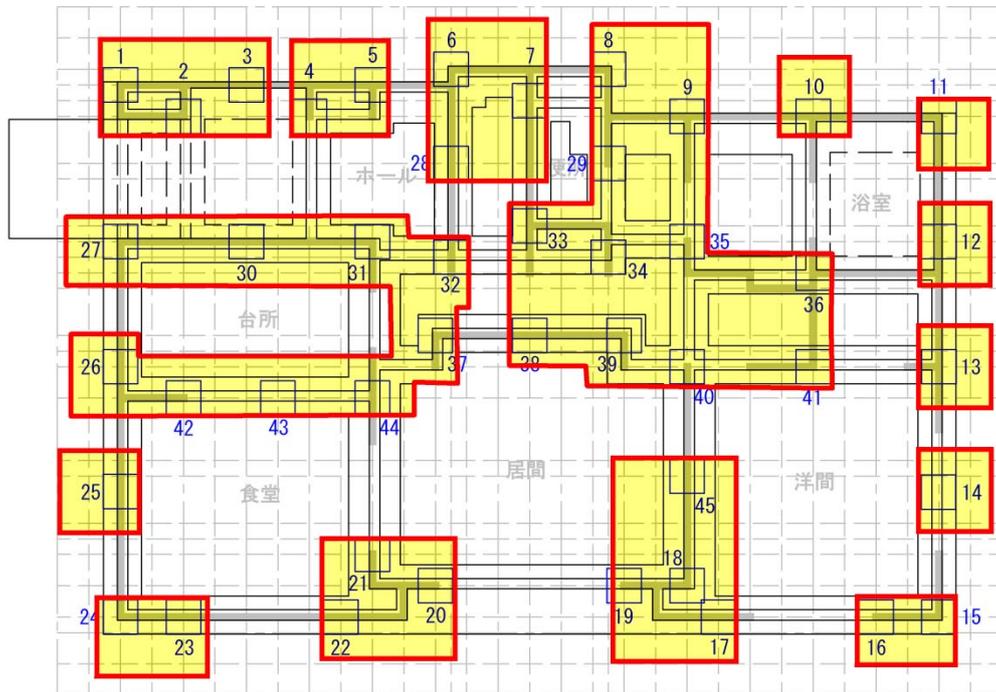


図 3-2-3 掘削図 (例)

3) 施工手順

本工法の作業手順を以下のフローチャートに示す。

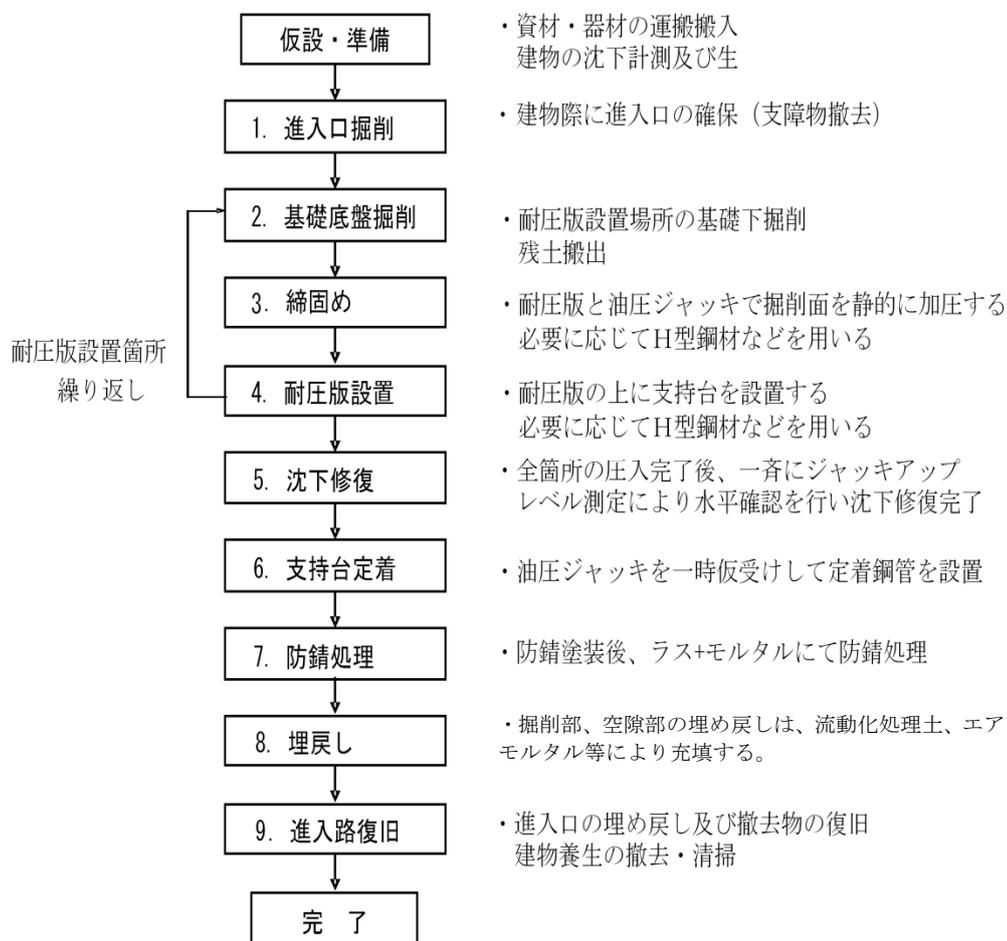


図 3-2-4 耐圧版工法の施工手順



写真 3-2-1 掘削状況



写真 3-2-2 耐圧版設置

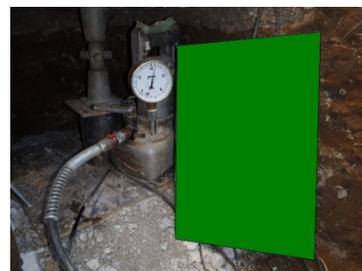


写真 3-2-3 支持力確認



写真 3-2-4 沈下修復状況
(その 1)



写真 3-2-4 沈下修復状況
(その 2)



写真 3-2-6 支持台定着

4) 施工上の留意点

○耐圧版と支持台の設置

基礎下の掘削は、所定箇所に耐圧版を置き、ジャッキ等で仮受けしながら順次掘削する。また、設計上の配置間隔を超えないように耐圧版を設置する。

耐圧版は水平に設置する。設置面の地盤に乱れが生じている場合には締固め等を行う。支持台の鉛直性は傾斜 1/100 以下とする。

○耐圧版の支持力確認

耐圧版設置時の支持力度の確認は、地盤の短期許容応力度以下とし、基礎梁及び上部構造の変形が生じないように適切に管理を行う。なお、必要に応じて鋼材などを用いて基礎梁の補強を行う。

○沈下修復および定着

支持力を確認後、沈下修復を行い、油圧ジャッキから定着鋼管に盛替えて定着処理を行う。ジャッキアップは出来る限り均一に少量ずつ行い、ジャッキ圧力を適切に管理し、基礎梁及び上部構造の有害な変形が生じないように適切に管理を行う。ジャッキアップ完了後の定着鋼管は、適切に防錆処理を行う。

○埋め戻し

埋め戻しは、流動化処理土、エアモルタル等を用いて行われることが多いが、地盤・支持台及び基礎が一体化となるように適切に埋め戻す。

3-3 注入工法

1) 工法の概要

沈下修正を目的とした注入工法とは、建物基礎下へ小口径削孔を行い、その孔から注入材を圧入し、そのときの注入圧により建物をリフトアップさせる工法である。

2) 設計方法

図 3-3-1 に注入工法の設計フローを示す。

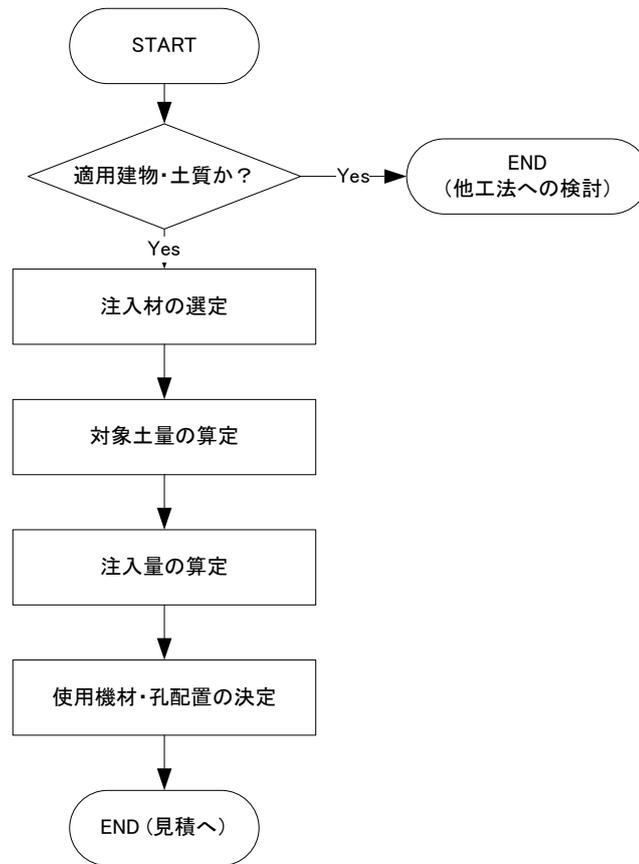


図 3-3-1 設計フロー

① 用建物・土質の判定

注入工法は、注入圧を地盤から基礎へと伝達させて建物を修正するので、他の油圧ジャッキを用いる修正工法（例えば鋼管圧入工法など）に比べると確実性に欠ける。また注入圧が地盤から基礎だけでなく周囲の土構造物にも影響を与えることから、施工条件の制約も多い。

表 3-3-1 に注入工法を用いる際の適用建物・土質の判定基準を示す。

表 3-3-1 適用建物・土質の判定基準（案）

項目	判定基準	理由
建物基礎構造	ベタ基礎 (布基礎は、原則としてNG)	・布基礎では、土間部に注入圧が開放されるため建物が持ち上がりにくくなる。
建物の被害程度	不同沈下量 20~30 cm 以下	・不同沈下量が大きいと注入量が増し周囲への注入材の流出もあり非効率となる。
建物の敷地配置	・対象建物際から離隔 1m 内に主要構造物（塀、擁壁、隣地建物）がないこと。	・周辺構造物もリフトアップするため。
土質	・腐植土層、産業廃棄物層が厚く堆積しないこと（層厚 2m 以上はNG）。 ・沈下が終息していること。	・周囲への注入材の流出が生じやすい。 ・再沈下の可能性が高くなる。

②注入材と注入方式の選定

図 3-3-2 に一般に注入で用いられる材料の種類を示す。

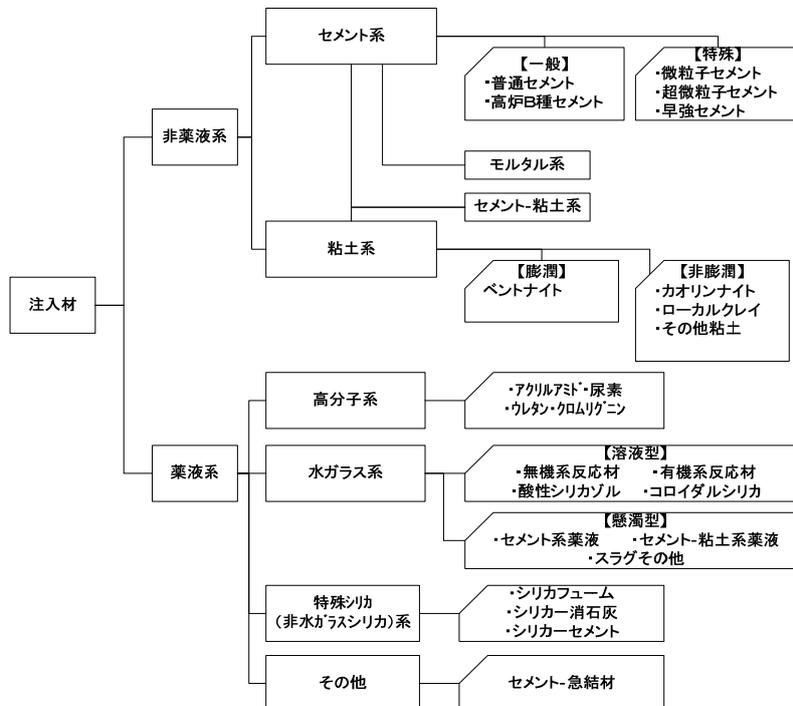


図 3-3-2 注入材料の種類

注入で沈下修正を行う場合、その注入圧によって土粒子に負荷を与えて移動させる必要がある。よって、一般に地盤改良を目的として利用される浸透性の高い材料は不向きである。

注入材に必要とされる特性は、以下の通りである。

- (1) 材料強度が十分高いこと
- (2) 非浸透材料であること
- (3) 収縮性が少なく耐久性に富む材料であること

以上より沈下修正で用いる注入材は、図 3-3-2 中のうち、以下の材料が適している。

- ・モルタル（セメント系）
- ・ウレタン（高分子系）
- ・セメント系薬液（水ガラス系）
- ・シリカーセメント（特殊シリカ系）
- ・セメントー急結材（その他）

表 3-3-2 に一般に利用される注入工法の注入方式を示す。沈下修正を目的とした注入の場合は、浸透性材料を使用しないことから、表のうち二重管ストレーナー工法（単相式）を用いることが多い。

表 3-3-2 一般に使用されている注入方式の分類

注入方式		ゲルタイム	混合方法
①二重管ストレーナー工法	単相式	瞬 結	2 ショット
	複相式	瞬結，中～緩結	2，1.5 ショット
②二重管ダブルパッカー工法		緩 結	1 ショット

③注入対象土量の算定

注入対象土の算定は、工法によって考え方に差がある。例えば、注入量を少なくして効率よく修正しようとするれば、極浅い位置だけ注入すればよい（ただし技術的な課題も多くなる）。また深い深度で注入すると、建物は持ち上がりにくくなるが、その深い層で再沈下する可能性があるならば、その層も注入対象土としておく考え方もある。

このように沈下修正工法の注入対象土量の求め方には、明確な技術指針類が存在しないので、現状は設計者の経験により決めていることが多い。ここでは一般的な注入対象土の求め方を、表 3-3-3 にまとめたので参照されたい。

表 3-3-3 注入対象土の算定例

	沈下要因	
	圧密・圧縮沈下	液状化
注入上端深さ (L_u)	基礎の下端	基礎の下端
注入下端深さ (L_d)	圧密層下端*	3 m 程度以上 または 液状化層下端深度
注入面積 (S)	建物面積	建物面積

*圧密層下端は簡易な算出法である。別途、圧密沈下量計算を実施して注入下端深さを求めてもよい。

注入対象土量

$$V = S \times (L_d - L_u)$$

④注入量の算定

注入量 Q は、次式により算定できる。

$$Q = V \times a$$

Q : 注入量

V : 注入対象土量

a : 注入率 (%)

注意事項として、上式で求められる注入量は概略の設計量であり、施工時にこの量を注入すれば必ず沈下修正できるとは限らない。また設計量よりも少ない量で修正できる場合もあるので、この量は目安値と考える。表 3-3-4 に地盤改良を主目的とした土質別の一般的な注入率を示すが、これらを目安に注入率を決める。

表 3-3-4 土質別の注入率 (文献 1 を基に加筆修正)

土質	N 値	間げき率 (%)	注入率 (%)
粘性土	0-4	70	35
	4-8	60	27
砂質土	0-10	50	35
	10-30	40	28
礫質土	10-30	50	35
	30-50	35	24.5

1) 下水道工事積算研究会：建設省下水道工事積算基準（建設省下水道部監修：平成 10 年版）

⑤ 配置と使用機械の決定

図 3-3-3 に注入圧と地盤隆起の概念図を示す。図に示されるように注入箇所の上直上部が最

も隆起しやすいので、建物が最も下がっている箇所を重点的に注入することが望まれる（図3-3-4 注入孔配置例参照）。注入孔は、基礎に孔を空けて鉛直に削孔する場合と、建物の脇から斜めに注入する場合があります、現場条件および使用する削孔機により決定する。

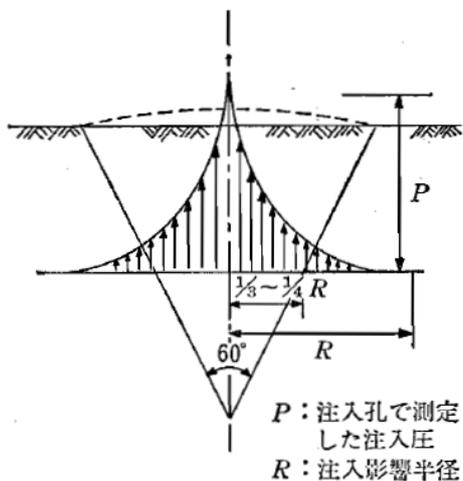


図 3-3-3 注入圧と地盤隆起の概念図

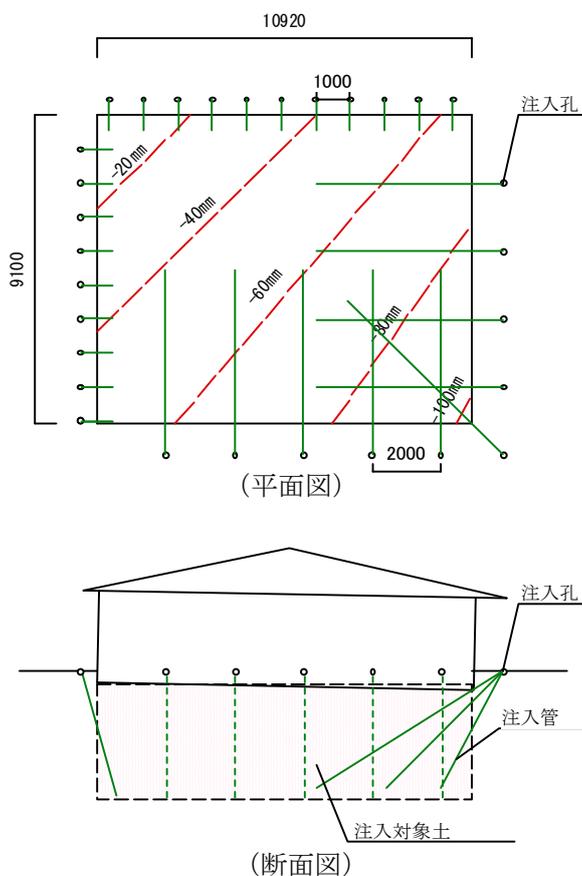


図 3-3-4 注入孔配置例

3) 施工手順と施工管理

注入工法の作業手順のフローチャートを図 3-3-5 に示す。

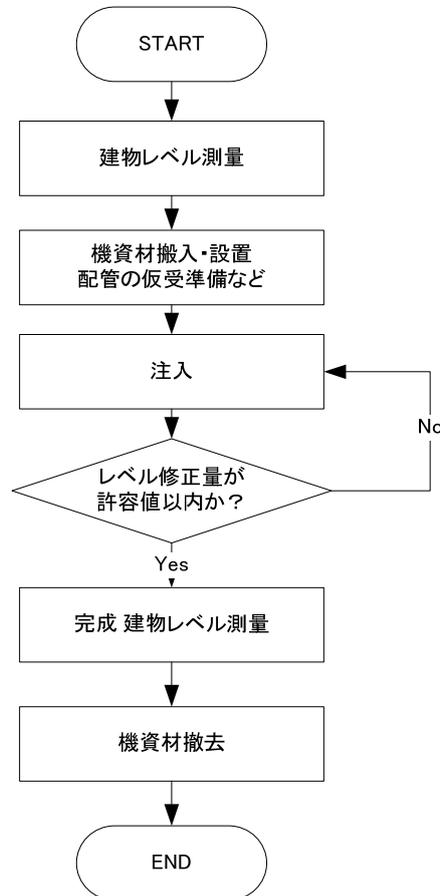


図 3-3-5 施工フロー

①建物レベル測量

・設計時のレベルと相違ないこと、および施工管理の一環として、注入前に建物主要箇所レベル測量を行う。

・このとき、主要な周辺構造物が近接するようであれば、その構造物のレベルも測定する。

②機資材搬入・設置、配管の仮受け準備など

- ・注入プラントの仮設準備、ボーリングマシン、配電盤、注入ホースの接続等を行う。
- ・建物の主要な箇所に、建物レベル管理測定のポイントを明示する。
- ・排水管等を確認し、フレキシブル管に付け替える等の準備を行う。

③注入

・削孔→注入を繰り返す。注入時は常時、建物変位量を監視する。その変位量の経時変化を見ながら、注入深度・注入ポイントを適宜変更して注入する。また、注入材が地表面へ流出したり、地中配管、浄化槽などへ流入しないように常時監視を行い、万一の場合は直ちに作業を中止して対策を講じる必要がある。

④完成時の建物レベル測量

・注入して許容値以内であることが認められれば、完成時の建物レベルを測量する。ただし、この完成時の測量は、地盤や注入材料によっては、注入後しばらく変動する場合がありますので、注入してすぐに実施しないこと（翌日以降が望ましい）。

⑤機資材撤去

・機資材を撤去し、工事前と同様に清掃して終了とする。

工事報告書では、最低限、以下の内容の書類を整備することが望まれる。

- ① 注入日報（日報には、注入量、注入位置、建物レベルが記載されていること）
- ② 使用材料
 - ・納品書
 - ・材料品質証明書
- ③ 工事施工写真
- ④ 工事日報
- ⑤ 建物レベルの成果（工事前後の建物レベル測定結果）

4) 設計・施工上の留意点

（設計）

・注入は、他工法と異なって周囲へ与える影響が大きいことから、適用の選定が最も難しい。隣家に影響を与える可能性がある場合は変位防止杭などを検討するか他工法の検討を行う。

・圧密沈下した物件は、沈下の終息を十分確認する。方法としては、追加調査にて圧密試験を実施して圧密度を計算することにより沈下の収束を確認することができる。

（施工）

・施工前に、あとで問題にならないよう周辺家屋の住民に工事の説明を行い、理解してもらうよう努めることが重要である。主要な周辺構造物のレベル調査を実施することが望ましい。

・工事完了から数ヶ月ぐらいの期間は再沈下の可能性がある。粘性土に注入した場合や、

施工時に隆起と沈下を繰り返した場合などで、再沈下が発生する可能性があるようであれば、完成後もレベル測量を実施して問題ないことを確かめておくことを推奨する。

5) 環境保全と資格

薬液注入工事においては、地下水（井戸）及び公共用水域などを汚染することがないように注意しなければならない。なお、参考資料として暫定指針を以下に示す。国土交通省管轄の薬液注入工事を施工する場合は、これを遵守する必要がある。民間工事においても、汚染事故などを発生することがないように注意が必要である。

現場責任者としては、十分な技術的知識と実務経験（10年程度）を有することが望ましい。薬液注入工事の公的資格では2級土木施工管理技士（薬液注入）がある。

巻末資料

薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針

建設省官技発第 160 号

昭和 49 年 7 月 10 日

薬液注入工法による建設工事の 施工に関する暫定指針

建設省官技発第 160 号

昭和 49 年 7 月 10 日

第 1 章 総 則

1-1 目 的

この指針は、薬液注入工法による人の健康被害の発生と地下水等の汚染を防止するために必要な工法の選定、設計、施工及び水質の監視についての暫定的な指針を定めることを目的とする。

1-2 適用範囲

この指針は、薬液注入工法による建設工事に適用する。ただし、工事施工中緊急事態が発生し、応急措置として行うものについては、適用しない。

1-3 用語の定義

この指針において、次に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

(1) 薬液注入工法

薬液を地盤に注入し、地盤の透水性を減少させ、又は地盤の強度を増加させる工法をいう。

(2) 薬 液

次に掲げる物質の一以上をその成分の一部に含有する液体をいう。

イ. けい酸ナトリウム

ロ. リグニン又はその誘導体

ハ. ポリイソシアネート

ニ. 尿素・ホルムアルデヒド初期縮合物

ホ. アクリルアミド

第 2 章 薬液注入工法の選定

2-1 薬液注入工法の採用

薬液注入工法の採用は、あらかじめ 2-2 に掲げる調査を行い、地盤の改良を行う必要がある箇所について他の工法の採用の適否を検討した結果、薬液注入工法によらなければ、工事現場の保安、地下埋設物の保護、周辺の家屋その他の工作物の保全及び周辺の地下水位の低下の防止が著しく困難であると認め

られる場合に限るものとする。

2-2 調 査

薬液注入工法の採用の決定にあたって行う調査は、次のとおりとする。

(1) 土質調査

土質調査は、次に定めるところに従って行うものとする。

(イ) 原則として、施工面積 1,000 平方メートルにつき 1 箇所、各箇所間の距離 100 メートルを超えない範囲でボーリングを行い、各層の資料を採取して透水性、強さ等に関する物理的試験及び力学的試験による調査を行わなければならない。

(ロ) 河川の付近、旧河床等局部的に土質の変化が予測される箇所については、(イ)に定める基準よりも密にボーリングを行わなければならない。

(ハ) (イ)、又は(ロ)によりボーリングを行った各地点の間は、必要に応じサウンディング等によって補足調査を行い、その間の変化を把握するように努めなければならない。

(ニ) (イ)から(ハ)までにかかわらず、岩盤については、別途必要な調査を行うものとする。

(2) 地下埋設物調査

地下埋設物調査は、工事現場及びその周辺の地下埋設物の位置、規格、構造及び老朽度について、関係諸機関から資料を収集し、必要に応じつぼ堀により確認して行うものとする。

(3) 地下水位調査

地下水位調査は、工事現場及びその周辺の井戸等について、次の調査を行うものとする。

(イ) 井戸の位置、深さ、構造、使用目的及び使用状況

(ハ) 河川、湖沼、海域等の公共用水域及び飲用のための貯水池並びに養魚施設（以下「公共用水域等」という。）の位置、深さ、形状、構造、利用目的及び利用状況

2-3 使用できる薬液

薬液注入工法に使用する薬液は、当分の間水ガラス系の薬液（主剤がけい酸ナトリウムである薬液をいう。以下同じ。）で劇物又は弗素化合物を含まないものに限るものとする。

第 3 章 設計及び施工

3-1 設計及び施工に関する基本的事項

薬液注入工法による工事の設計及び施工については、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等において、別表-1の水質基準が維持されるよう、当該

第 4 章 地下水等の水質の監視

4-1 地下水等の水質の監視

- (1) 事業主体は、薬液の注入による地下水及び公共用水域等の水質の汚濁を防止するため、薬液注入箇所周辺の地下水及び公共用水域等の水質の汚濁の状況を監視しなければならない。
- (2) 水質の監視は、4-2に掲げる地点で採水し、別表-1に掲げる検査項目について同表に掲げる検査方法により検査を行い、その測定値が同表に掲げる水質基準に適合しているか否かを判定することにより行うものとする。
- (3) (2)の検査は、公的機関又はこれと同等の能力及び信用を有する機関において行うものとする。

4-2 採水地点

採水地点は、次の各号に掲げるところにより選定するものとする。

- (1) 地下水については、薬液注入箇所及びその周辺の地域の地形及び地盤の状況、地下水の流向等に応じ、監視の目的を達成するため必要な箇所について選定するものとする。この場合において、注入箇所からおおむね 10メートル以内に少なくとも数箇所の採水地点を設けなければならない。
なお、採水は、観測井を設けて行うものとし、状況に応じ既存の井戸を利用しても差し支えない。
- (2) 公共用水域等については、当該水域の状況に応じ、監視の目的を達成するため必要な箇所について選定するものとする。

4-3 採水回数

採水回数は、次の各号に定めるところによるものとする。

- (1) 工事着手前 1回
- (2) 工事中 毎日1回以上
- (3) 工事終了後 (イ) 2週間を経過するまで毎日1回以上（当該地域における地下水の状況に著しい変化がないと認められる場合で、調査回数を減じても監視の目的が十分に達成されると判断される時は、週1回以上）
(ロ) 2週間経過後半年を経過するまでの間にあつては、月2回以上

4-4 監視の結果講ずべき措置

監視の結果、水質の測定値が別表-1に掲げる水質基準に適合していない場合又は、そのおそれのある場合には、直ちに工事を中止し、必要な措置をとらなければならない。

別表－１

水 質 基 準

薬液の種類		検査項目	検査方法	水質基準
水 ガ ラ ス 系	有機物を 含まない もの	水素イオン 濃度	水質基準に関する省令（昭和 41年厚生省令第11号。以下 「厚生省令」という。）又は日 本工場規格 K0102 の 8 に定め る方法	pH 値 8.6 以下（工事 直前の測定値が 8.6 を超えるときは、当該 測定値以下）であるこ と。
	有機物を 含むもの	水素イオン 濃度	同 上	同 上
		過マンガン 酸 カリウム消 費量	厚生省令に定める方法	10ppm 以下（工事直前 の測定値が 10ppm を 超えるときは、当該測 定値以下）であるこ と。

別表－２

排 水 基 準

薬液の種類		検査項目	検査方法	排水基準
水 ガ ラ ス 系	有機物を 含まない もの	水素イオン 濃度	日本工業規格 K0102 の 8 に定める方法	排水基準を定める総 理府令（昭和 46 年総 理府令第 35 号）に定 める一般基準に適合 すること。
	有機物を 含むもの	水素イオン 濃度	同 上	同 上
		生物化学的 酸素要求量 又は科学的 酸素要求量	日本工業規格 K0102 の 16 又は 13 に定める方法	排水基準を定める総 理府令に定める一般 基準に適合すること。

2013年 第1版作成委員（2013年4月）

（50音順・敬称略）

東北地方太平洋沖地震宅地調査委員会

委員 岩本 啓介
委員 加藤 清次
委員 河野 文顕
委員 須々田 幸治
委員 深谷 敏史
委員 三浦 佳晃
委員 渡辺 佳勝

協力委員

定京 隆
高田 徹
本多 典久
水谷 羊介

橋本 光則（副理事長：技術委員長）
真島 正人（理事）
新松 正博（事務局長）

小規模建築物の沈下修復方法の手引き

発行日 平成 25 年（2013 年）4 月第 1 版

発行所 特定非営利活動法人
住宅地盤品質協会

〒113-0034 東京都文京区湯島 4-6-12 湯島ハイタウン B-222

TEL 03-3830-9823 FAX 03-3830-9852

URL <http://www.juhinkyo.jp/>