

震災文庫 11 - 257
-2

兵庫県南部地震被害調査報告書（その2）

目 次



I. 阪神・淡路大震災における杭基礎の被害についての考察	1
II. 兵庫県南部地震により被災した共同住宅の基礎杭の 被災例による検討	9
III. 震災後の杭基礎の耐震設計等に関する動向	45

[参 考 資 料]

資料 1 「建築物の構造耐力上の安全確保に係る措置について」
（平成7年5月31日付 特定行政庁建築主務部長宛て
建設省住宅局建築指導課長通達）

資料 2 「下水道施設に関する耐震設計に係る第二次暫定指針」
（平成7年8月3日付 都道府県・政令指定都市・
住宅都市整備公団下水道担当部・課長宛て
建設省都市局公共下水道課及び流域下水道課両課
両建設専門官より事務連絡）

資料 3 「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る
仕様および復旧仕様の解説（案）」
（平成7年2月27日付 関係機関宛て
建設省道路局・都市局担当課長より事務連絡）

ま え が き

死者・行方不明者5500名以上の人的被害と40万棟以上といわれる建築物に被害を与え、道路・鉄道・港湾施設をはじめ電気・上下水道・ガスなどの公共施設へ壊滅的な被害を与え都市機能を麻痺させた「兵庫県南部地震」の発生から間もなく1年になろうとしています。

社団法人コンクリートパイル建設技術協会では、地震発生直後から会員各社にお願いし、既製コンクリート杭を用いた建築物の被害調査を開始するとともに社団法人コンクリートポール・パイル協会と合同で震災特別委員会を設置し、調査方針の策定、資料の取りまとめ等の作業を行い、建築物の被害の実態を中心に取りまとめた「兵庫県南部地震被害調査報告書（その1）」を5月に発表いたしました。

その後、時間の経過と被災建築物の撤去・補修などの復旧活動の進捗に伴い、関係機関の被害調査が進められ、基礎杭の被害も報道されるようになりました。当協会々員各社においてもそれぞれ独自に被災状況及び被災原因の調査が実施されていました。

当協会では、既製コンクリート杭について被災データと無被災データをできるだけ多く収集し、設計の考え方と結び付けることにより被災原因を分類することで原因の究明に役立てようとデータの収集に努めましたが、関係機関を含め各社とも色々と事情がありデータを集めることは困難でありました。

今回、兵庫県南部地震における杭基礎の被害について、日本大学 榎並 昭 教授にご執筆を頂いたこと、あわせて会員社より被災原因について、被災例と無被災例を比較検討した事例の提供がありましたので、関係機関において公表された指針等から杭基礎に関する提言等を抜粋したものを「震災後の杭基礎の耐震設計等に関する動向」として取りまとめ、これを含めて「被害調査報告書（その2）」を発刊いたしました。

原稿及び資料のご提供を頂いた各位に厚く御礼申し上げるとともに本報告書が今後の杭基礎の設計及び震災対策に少しでもお役に立てば幸いに存じます。

平成7年12月

（社）コンクリートパイル建設技術協会
専務理事 白 濱 正 芳

00096093156

I. 阪神・淡路大震災における 杭基礎の被害についての考察

日本大学教授 工学博士 榎 並 昭

1. まえがき

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部を震源とする地震によって、土木建築構造物の破壊が数多く見られた。上部構造は目視によって直接その被害状況が確認されたが、基礎構造については上部構造の傾斜や沈下によって被害が推定されるものの、地中にあるために掘り出して確認するまでに日数を要し、日を経るにつれて次第に被害の状況が明らかになってきている。

上部構造の被害状況を見た時点で、基礎構造もかなりの被害を受け、杭の破壊も生じていることが予想された。それは、PHC杭の場合には、工場における品質管理が十分に行なわれていて製造会社や工場別の品質の差はほとんどないと考えられるのに対して、後述のように基礎構造としての杭の設計や施工に種々の問題があることを思ったからである。今回の震災を機に十分な検討を行なって、今後は安全な基礎の設計や施工がなされることが望まれる。

2. 杭の設計用外力と地震力

(1) 基礎杭の設計用外力の変遷

建築構造物の設計では、高層建築物や一部の特殊な場合を除いて地震力を静的な水平力に置換して加えている。特別の場合には上下動についても同様な取扱いをしている。この水平力によって柱梁にせん断力と曲げモーメントが生じるが、梁のせん断力はこれと接続する柱に対して下向きまたは上向きの軸方向力となり、上階から下階に向って加算され、最下階の柱の軸方向力は基礎で支持される。杭基礎では常時の鉛直荷重による軸方向力と地震時の水平力による軸方向力が加算されて短期荷重時の設計用に用いられてきた。これは建物の動きとしてはロッキング (rocking) に対応するものである。水平力による建物の動きとしては水平移動であるスウエー

(sway) があり、これは杭に対して上端に加わる水平力として作用するが、建築では以前には地盤が何となくこの水平力を支持してくれるという淡い期待の下に設計上考慮されていなかった。

1974年(昭和49年)に日本建築学会の基礎構造設計規準が改訂されて、地震時の杭に対する水平力を設計に考慮すべきことが示された。土木構造物ではそれ以前から考慮されていたものである。しかしながら建築基準法上の取扱いとしては、一般の設計者(建築士)のレベルを超えているとして取り上げられなかった。したがってそれ以前はもちろん、それ以後に建設された杭基礎の建築物でも、建設費の増大を押さえるためあって杭の設計は軸方向力のみにより、せん断力や曲げモーメントを考えないものが主流であった。

1978年に宮城県沖地震が起こって建築中のアパートに用いられたPHC杭が破壊し、建物が傾斜し破壊を生じた。この場合は、水平力を考慮した設計での試算では実際に用いられていた杭と同種で同径の杭を使用した場合に2倍以上の本数の杭が必要であることが示されたが、日本建築学会の大会での討論では、杭体の欠陥によるものとされた。その後日本建築センターでもPHC杭の検討が行なわれ、許容応力度を一般のプレストレストコンクリート構造と同様にして決定すること、即ちプレストレスは一般の外力と同様な外力であるということになったが、実際上の取扱いとしてはあまり変わらないものであった。同時に杭に対して地震時の水平力を荷重として考慮した設計法、特に地下階をもつ建物の杭基礎に対する水平力の採り方を含めた指針がまとめられて「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」昭和59年9月(1984)が刊行された。しかしこの場合も水平力の考慮を義務づけるものではなく、その採用は設計者に任せられていた。したがって、現在建てられている建築物は比較的新しいものであっても、杭の設計に水平力を考慮していないものが存在すると考えられ、これらは1月の地震のような強い地震動に対しては、当然破壊を生じることになる。また水平力を設計上考慮している場合でも、その大きさをどのようにとったかということと、実際の地震でどれだけの大きさの水平力が加わったかとの相対的な関係にも注目する必要がある、杭体の設計荷重に対する安全上の余裕がどれだけあるかも問題である。上部構造の新耐震設計法と称せられているものに対応した基礎構造の設計法は現在のところ存在しないが、特に保有水平耐力に相当する設計を如何にするかは今後の課題と考えられる。

(2) 杭に対する地震時の荷重

地震時の水平力を杭の設計に考慮する場合に、次のことを注意しなければならない。

常時の鉛直荷重の基礎への伝達量は、その直上の床スラブの支配面積によって決定されるから、通常の場合は内柱に比べて側柱や隅柱の下に基礎に加わる軸方向圧縮力は小さい。しかし地震力については、建物のロッキングによる軸方向力の増減は周辺の基礎の方が大きく、特に通常の設計では考慮していない、骨組みの方向に対して斜めの方向に地震力が加わった場合には、隅角部の基礎での軸方向力の変動は最も大きくなる。一方、建物のスウェーによる水平力については、通常の建築物では各柱下の基礎が基礎梁や床板で一体化されているために、一様な水平変位を生じることが多い。また、建物がその重心と剛心の偏心によって水平に回転する場合には外周特に隅角部で大きく変位することになる。これらの変位によって杭に対する水平力の分配率(分担率)は常時の鉛直荷重の分布と異なることが多い。このようなことを考慮して杭に加わる水平力(せん断力)や、それによって生ずる曲げモーメントと軸方向力の組合せを行って設計することが必要である。

3. 杭の周辺地盤の特性

杭基礎を使用するような地盤は少なくともその上部が軟弱な地盤であり、一般に地震動は地表面に向って増幅される。ゆるい砂地盤では地震動によるせん断変形がある限界値に達すると液状化が生ずる。液状化すると砂と水の混合した液体となるために横波（S波）は伝達されなくなって縦波（P波）のみが伝達されることになる。このため地盤が液状化した後は横揺れの地震動の入力は大きくならないが、杭は液体中の掘立て柱のようになり、地中部の正の曲げモーメントの位置が深くなってその値が大きくなる。また杭の揺れの周期が長くなる。液状化した地盤が側方流動を生じた場合は、更に別の状態になる。

軟弱地盤が粘性土の場合には、地震動が地表面に向って増幅され、周期が長く大きな地震動が建物に入力されることになる。

これらの状態は上部構造の固有周期とも関連して変化し、上部構造の応答による杭への外力に影響を及ぼすと共に、杭の周囲の地盤の変形が杭に強制変形を与えることも考えられるなど、杭の破壊の原因にも影響を与えることになる。

4. PHC杭の力学的特性

PHC杭の力学的特性は、杭体の圧縮試験、曲げ試験、軸力曲げ試験、せん断試験やコンクリートおよび鋼材の試験によって明らかにされている。ここでは注意事項について述べることにする。

PHC杭のコンクリートは平均強度が $900\text{ kg/cm}^2 \sim 1000\text{ kg/cm}^2$ であり、設計基準強度としている $800 \sim 850\text{ kg/cm}^2$ よりも1.0数%高い。軸方向圧縮力と曲げモーメントが組み合わさって加わった場合には、引張側にひび割れが生ずることがあっても多くの場合に杭断面の圧縮側のコンクリートの圧潰によって最終強度に至る。圧縮強度が 600 kg/cm^2 を超えるコンクリートでは、圧縮破壊は爆裂的に起こり、プレストレスが導入された場合にはさらにその状態が著しい。したがってPHC杭の圧縮破壊も同様である。またPHC杭は中空円筒形であるために帯筋やスパイラル筋によって靱性を高めることがむずかしい。これらによってPHC杭は破壊が近くなるまで弾性的な挙動をし、脆性的に破壊して急激に支持力が減少するから、圧縮応力の許容値を決めるための安全率を通常の鉄筋コンクリートに比して大きくとっている。また上述のように設計基準強度より実際の強度が大きく、その変動係数も2%程度と小さいから、曲げ、あるいは軸力曲げの終局強度は設計値より5～15%程大きくなっている。

杭の水平抵抗は、周囲の地盤との協力によって発揮されるから、杭上部の周辺地盤が軟弱な場合にはせん断スパンが大きく、また大きな地震動によって地盤に塑性変形を生じた場合にはなおさら大きくなって、変形性能、見掛けの靱性とでも言うべきものが得られると考えられる。杭の力学的挙動を考える場合には、地盤条件も重要であると思われる。

5. 杭頭処理の設計と施工

杭の施工が打込みによって行なわれていた時には、杭の先端が支持層に達した時に予

定の基礎スラブ底面から上方に杭が残ることがしばしば見られた。また基礎スラブ中にP C鋼材を埋め込むようにするために杭の上端を突出させることも行なわれている。このような場合には突出部を切断、あるいはP C鋼材だけを残してコンクリート部分を切断除去するが、切断面から下方に40 cm程度はプレストレスが減少する範囲となることが避けられない。切断が注意深く行なわれない場合には、プレストレスの減少範囲がより大きくなり、また縦ひび割れが生じる場合もある。

杭の曲げ性能を十分に発揮させるためには所定のプレストレスが導入されていることが必要であり、杭頭は地震時に水平荷重が加わった場合に曲げモーメント、せん断力が最も大きい位置であり、上部構造からの軸方向力も同様杭頭で最大となる。

杭のせん断や曲げ性能を保ちながら基礎スラブとの間の応力の伝達をはかるために種々の方法がとられている。杭頭と基礎スラブが剛接の状態となるためには杭径の2倍程度基礎スラブ中に埋め込む必要があるという研究も報告されているが、杭頭を30 cm程度埋め込んで配筋を連続させればある程度の固定度が得られ、杭体の性能を発揮できることも示されている。

埋め込み工法が主流となっている都市部での杭の設置法によれば、予定の支持層中に先端を貫入させる長さを調節することによって、杭頭部を所定の高さに止め、切断しなくてよいようにすることが可能になってきている。杭頭の切断がない場合には、端板に必要な量の鉄筋を取付ける方法が開発されている。

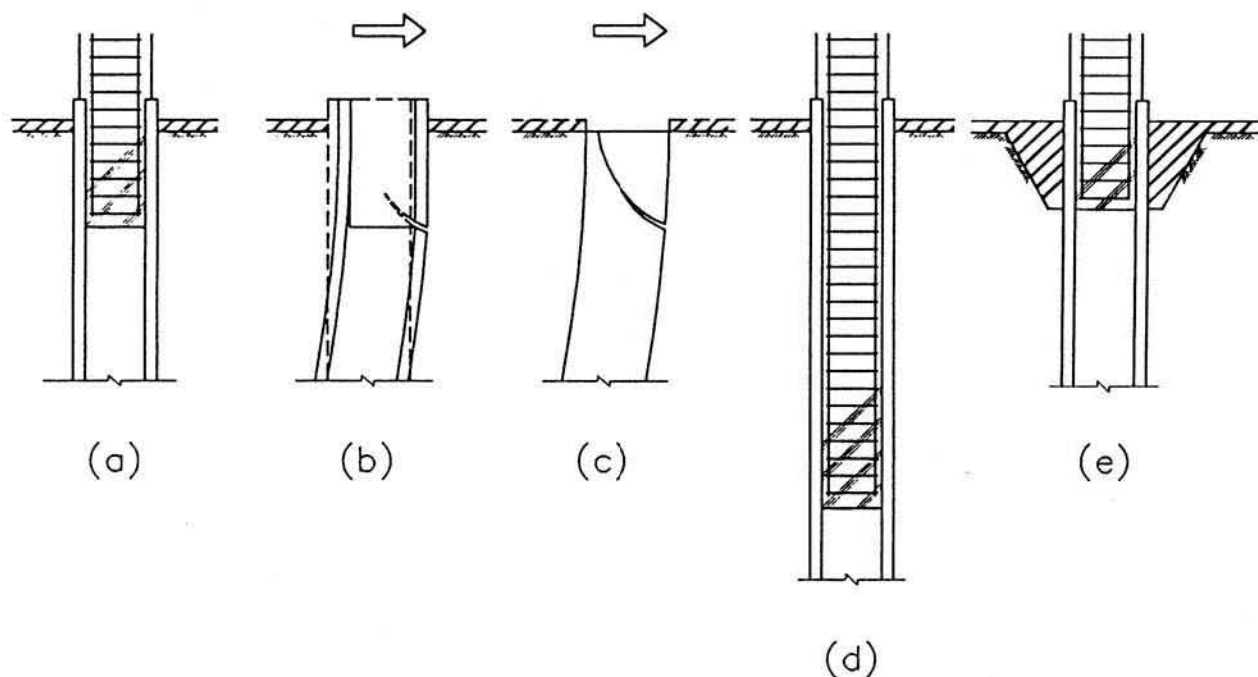
杭頭の固定度を増し、応力の伝達を十分にするために、杭の中空部に鉄筋かごを挿入し、コンクリートを打設して基礎スラブと一体化する方法もとられている。この場合に中空部に埋め込むコンクリートの深さが基礎スラブ底面から数十cm程度に止められた場合には水平力が加わった際に杭体を破壊し易い。詰め込まれた鉄筋コンクリート部が短いと剛性が大きく、基礎が水平変位を生ずる際に基礎スラブと一体になって剛体のように変位し、木造のあわせ梁に用いられた「だぼ」(dowel)のような作用によって、杭体を引き裂くような働きをする(図1(a)～(c))。その破壊の状態が杭のせん断破壊のようなひび割れ形状を示すことからせん断破壊と考えられ易いが、実際には上述のようなものであることが宮城県沖地震の後で実物の杭と実大の基礎スラブによる実験によって明らかになっている。今回の阪神・淡路大震災でも同様な杭の破壊が見られているが、宮城県沖地震の後で建設されたものであれば、その経験が生かされなかったことになる。これは設計上の問題であり、杭体や施工の問題ではない。中詰めコンクリート方式を用いるならば、中詰めの深さを大きくして(図1(d))、曲げモーメント等の応力が小さくなる位置までとするか、中詰めの深さまで杭の外周部を掘り下げてコンクリートで巻き立てて、杭頭の位置(拘束端)を中詰めコンクリートの先端深さまで下げるようにすべきである。

(図1(e))

6. むすび

地震によって杭が破壊する場合は、以上述べたような種々の原因と問題点を内蔵して

(図 1)



おり、従来のように杭体のみですべての原因があるとすることは将来への技術の発展を閉ざすことになる。特に設計上の検討が重要であることを認識すべきであろう。

地下構造部分に対する地震時の外力については上部構造の場合よりも明確でない部分が多い。地震時の水平力を考慮していない設計の場合は問題外であるが、水平力を考慮している場合でも予想した以上の大きな外力が加われば杭の破壊が生ずることになる。大地震によって破壊した杭と無被害であった杭の双方について設計や施工がどのように行なわれたかを検証することが重要であると考えられる。前述のように上部構造では既に新耐震設計法が採用されているが、基礎構造ではこれに対応する設計法や理念が確立されていない。基礎構造が破壊した場合はその発見が困難であると共に、もし補修・補強をすることになれば上部構造に比べて格段に困難であり、費用も大きくなることを考慮する必要がある。なるべくすみやかに研究を進めて設計体系を確立することが望まれる。

(平成7年11月)

Ⅱ. 兵庫県南部地震により被災した 共同住宅の基礎杭の被災例による検討

1. まえがき

兵庫県芦屋市内に建設されたほぼ同規模の2棟の共同住宅（壁式プレキャストRC造、4階建）があり、両者間の距離は約4kmであり近接しているとはいえないが、今回の地震により一方は不同沈下により建物が傾斜し、他方は無被害という状況となっている。

両者は、新耐震設計法により設計され、B種のPC杭またはPHC杭により支持された建築物である。

この両者について設計条件を比較することにより建物の耐震設計法究明の手掛かりの一つとなることを期待し、ここに比較設計を試みたものである。なにぶんデータも少ないことから大胆な仮定にたよる部分も多く、必ずしも十分なものとはいえないが、参考のためにここに計算結果を報告する。

2. A共同住宅の建物概要及び外観写真

[建物概要]

竣工年度	S	57年	(新耐震設計法)		
建物規模	階	高	4	階	
	建築面積		311.6	m ²	
	延床面積		1,043.0	m ²	
	軒	高	10.9	m	
	用	途	共同住宅		
構造方式	壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造				
基礎杭	P C杭	φ 450mm	B種	l = 16.0m	29.7 t／本

[被害状況]

建物は南北外壁面・東西外壁面共にクラックもなく健全であるが、不同沈下があり北側に 1/75、西側に 1/2427 傾斜している（沈下測定値参照）。

本建物及び近隣の被害状況から推定して地震動は南北動（梁間方向）が強かった模様である。

構内には、地盤沈下があり、歩道・縁石・アスファルト舗装にクラック・破損・不同沈下があり、液状化の跡も認められる。

[建物の外観写真]

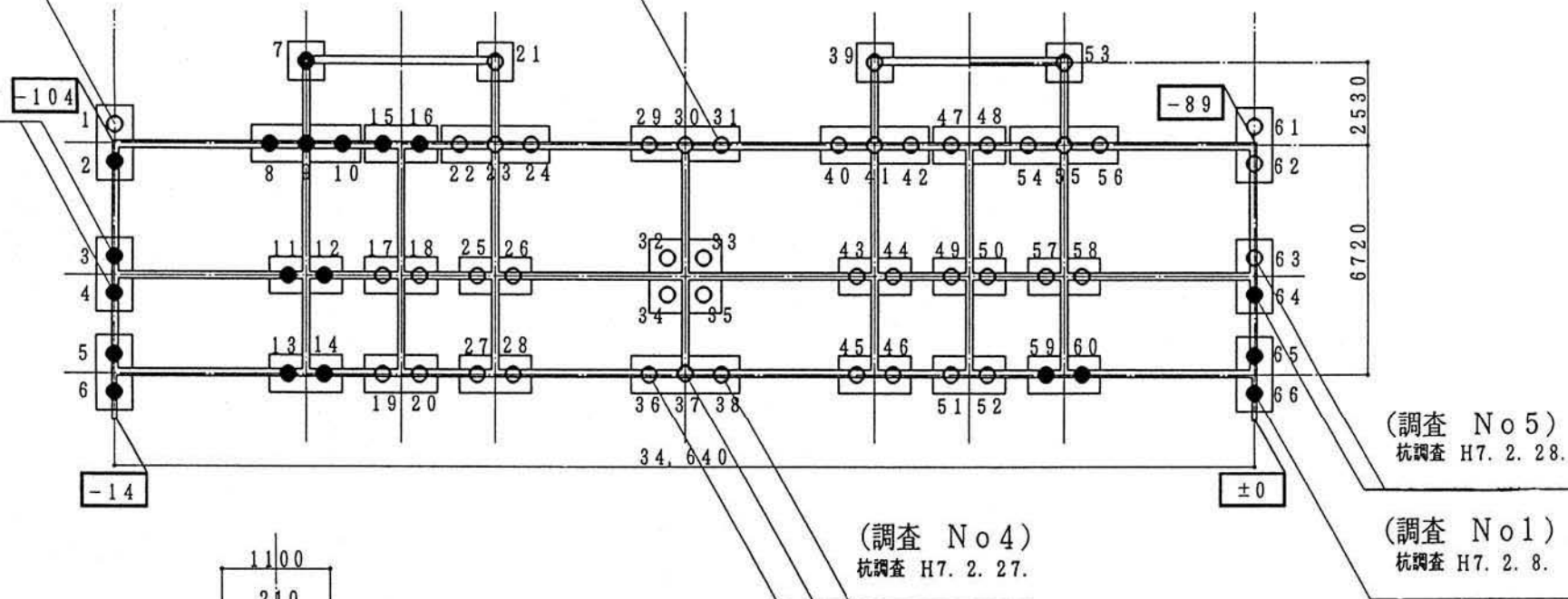


3. A 共同住宅の基礎杭調査箇所と不同沈下測定値

(調査 No2)
杭調査 H7. 2. 8.

(調査 No3)
杭調査 H7. 2. 27.

(調査 No6)
杭調査 H7. 2. 28.



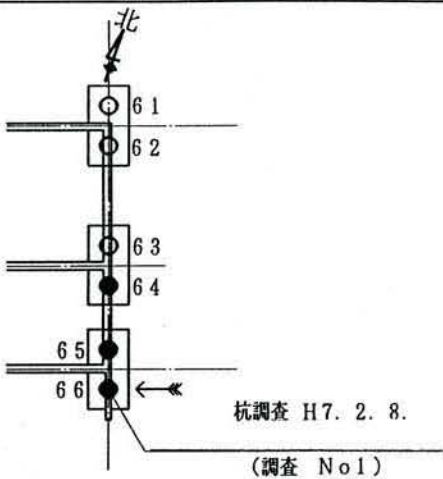
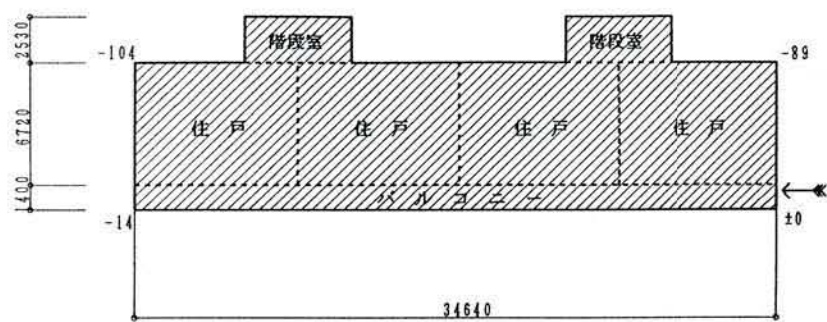
注1: 杭種 PC-450φ 8+8 (B+A)
注2: 図中の数字は杭Noを示す
注3: ●印は、杭頭カットした杭を表す
注4: □内の数字は建物の東南隅を0とした時の
沈下量を示す(単位:mm 測定日 H7. 2. 8.)

建物所在地 _____
建物用途 4F 建共同住宅
躯体構造 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造

基礎杭調査箇所と不同沈下測定値

4. A 共同住宅の基礎杭の損傷状況写真

調査 No 1



注：建物4隅の数字は東南隅を0とした時の沈下量を示す（単位 mm 測定日 h7. 2. 8.）

調査月日	平成7年2月 8日	杭No	66	杭頭カットの有無	有
------	-----------	-----	----	----------	---

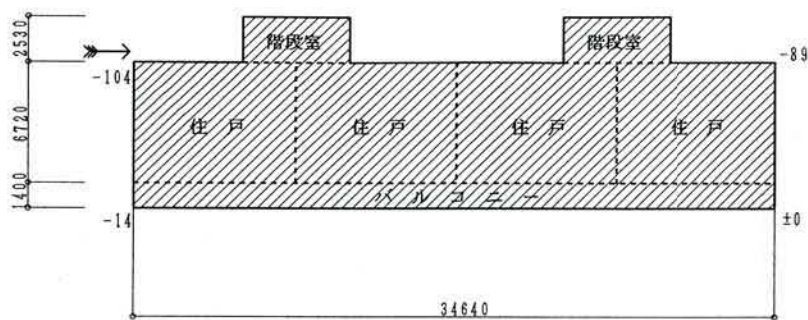


調査月日	平成7年2月 8日	杭No	66	杭頭カットの有無	有
------	-----------	-----	----	----------	---



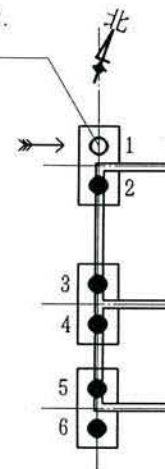
杭損傷状況記録写真

調査 No 2



杭調査 H7. 2. 8.

(調査 No2)



注：建物4隅の数字は東南隅を0とした時の沈下量を示す（単位 mm 測定日 h7. 2. 8.）

調査月日	平成7年2月 8日	杭No	1	杭頭カットの有無	無
------	-----------	-----	---	----------	---

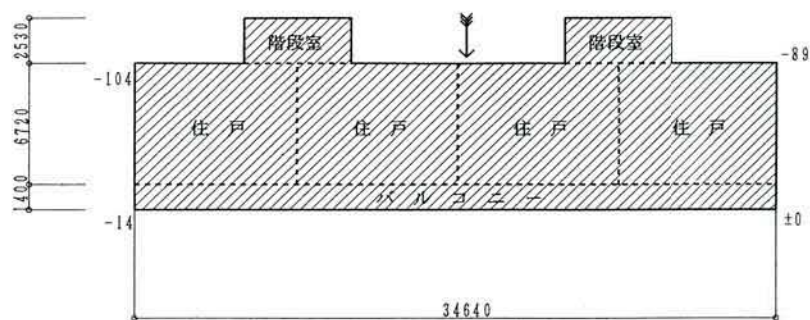


調査月日	平成7年2月 8日	杭No	1	杭頭カットの有無	無
------	-----------	-----	---	----------	---



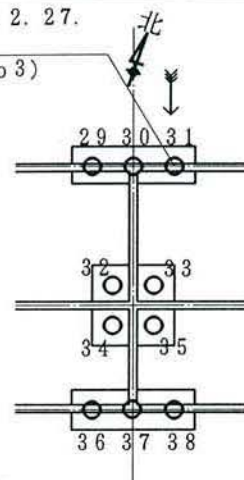
杭損傷状況記録写真

調査 No 3



杭調査 H7. 2. 27.

(調査 No 3)



注：建物4隅の数字は東南隅を0とした時の沈下量を示す（単位 mm 測定日 h7. 2. 8.）

調査月日 平成7年2月27日

杭No 31

杭頭カットの有無 無



調査月日 平成7年2月27日

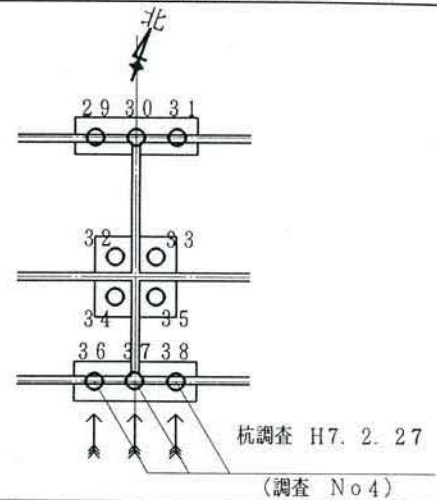
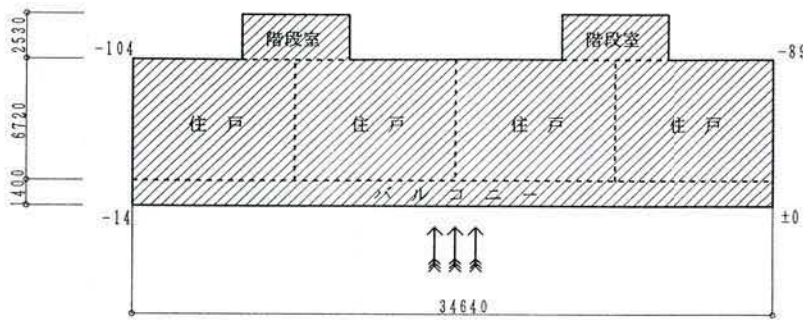
杭No 31

杭頭カットの有無 無



杭損傷状況記録写真

調査 No 4



注：建物4隅の数字は東南隅を0とした時の沈下量を示す（単位 mm 測定日 h7. 2. 8.）

（調査 No 4）

調査月日 平成7年2月27日

杭No 37

杭頭カットの有無 無



調査月日 平成7年2月27日

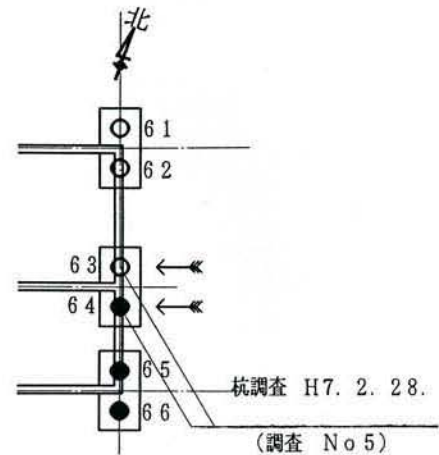
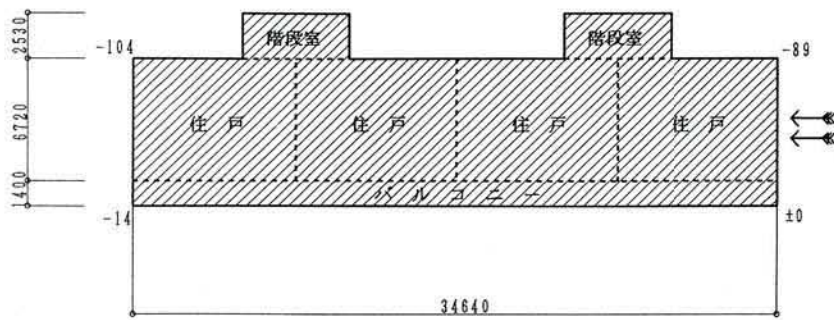
杭No 38

杭頭カットの有無 無



杭損傷状況記録写真

調査 No 5



注：建物4隅の数字は東南隅を0とした時の沈下量を示す（単位 mm 測定日 h7. 2. 8.）

調査月日	平成7年2月28日	杭No 63~64	杭頭カットの有無	No63 無 No64 有
------	-----------	-----------	----------	------------------

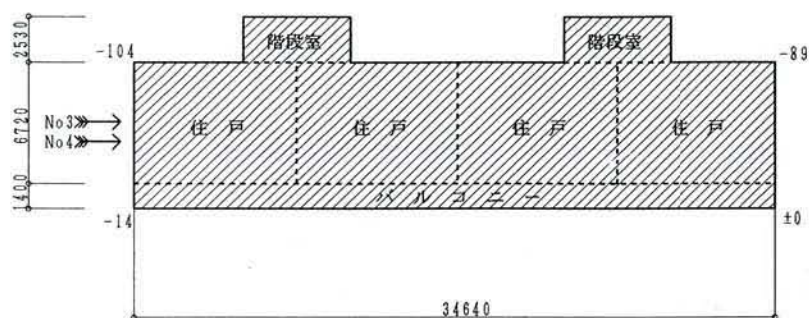


調査月日	平成7年2月28日	杭No 63~64	杭頭カットの有無	No63 無 No64 有
------	-----------	-----------	----------	------------------



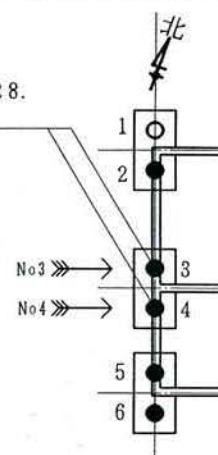
杭損傷状況記録写真

調査 No 6



杭調査 H7. 2. 28.

(調査 No 6)



注：建物4隅の数字は東南隅を0とした時の沈下量を示す（単位 mm 測定日 h7. 2. 8.）

調査月日 平成7年2月28日

杭No 3

杭頭カットの有無 有



調査月日 平成7年2月28日

杭No 4

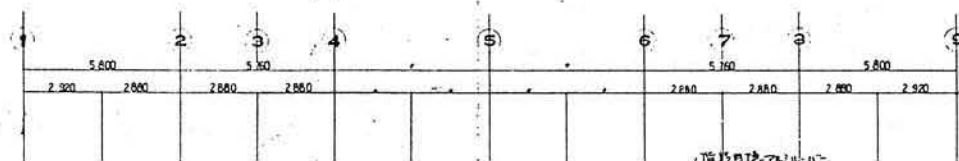
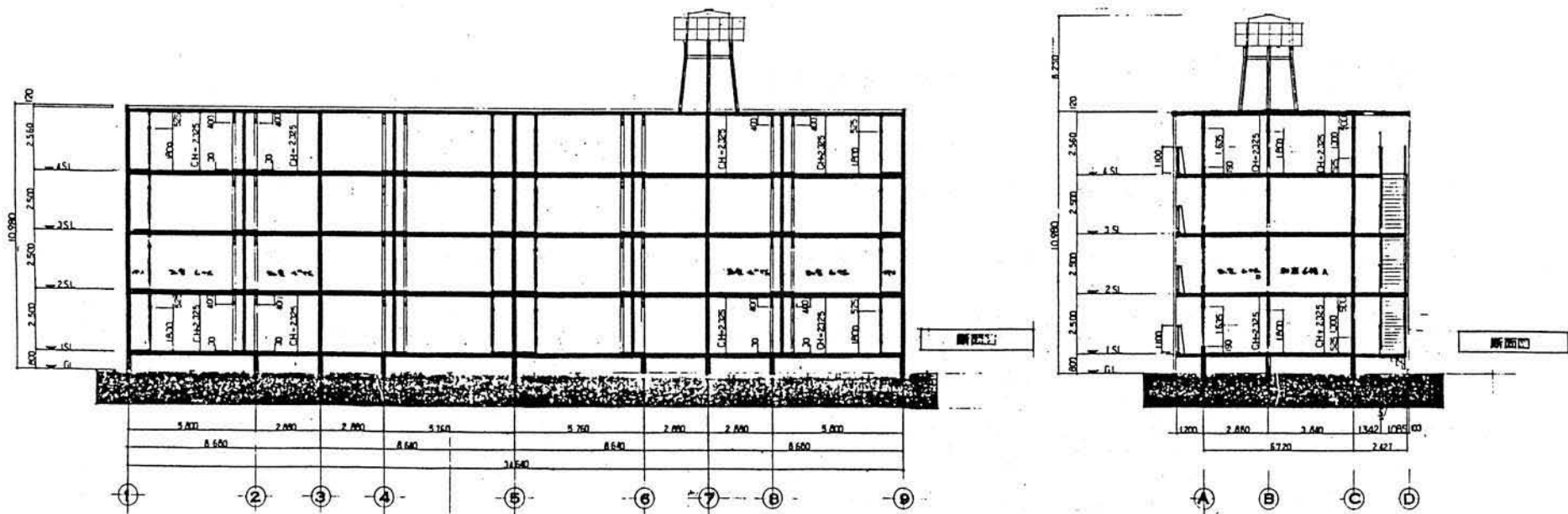
杭頭カットの有無 有



5. A共同住宅の地盤沈下状況写真（地盤の液状化による）

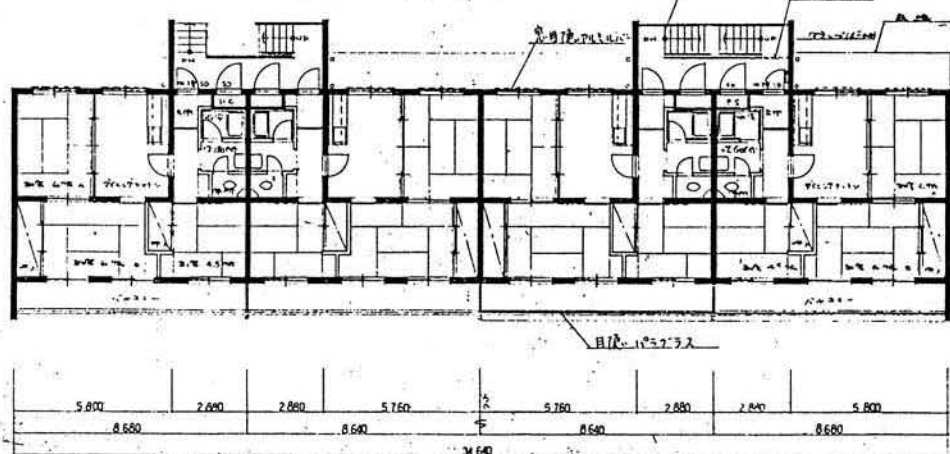
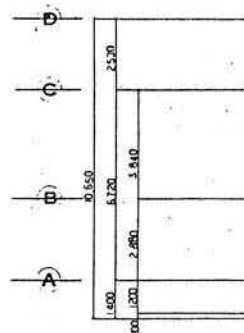


6. A共同住宅の平面図及び断面図



坪数	165.8
延床	257
床面積	900

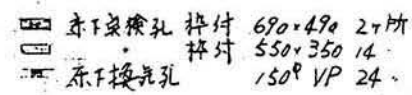
	A	L	V	S
坪数	11.26	1.95	0.98	0.45
延床	11.06	5.23	2.62	0.95
床面積	11.06	2.08	1.04	0.45
延床	8.29	2.62	1.31	0.58



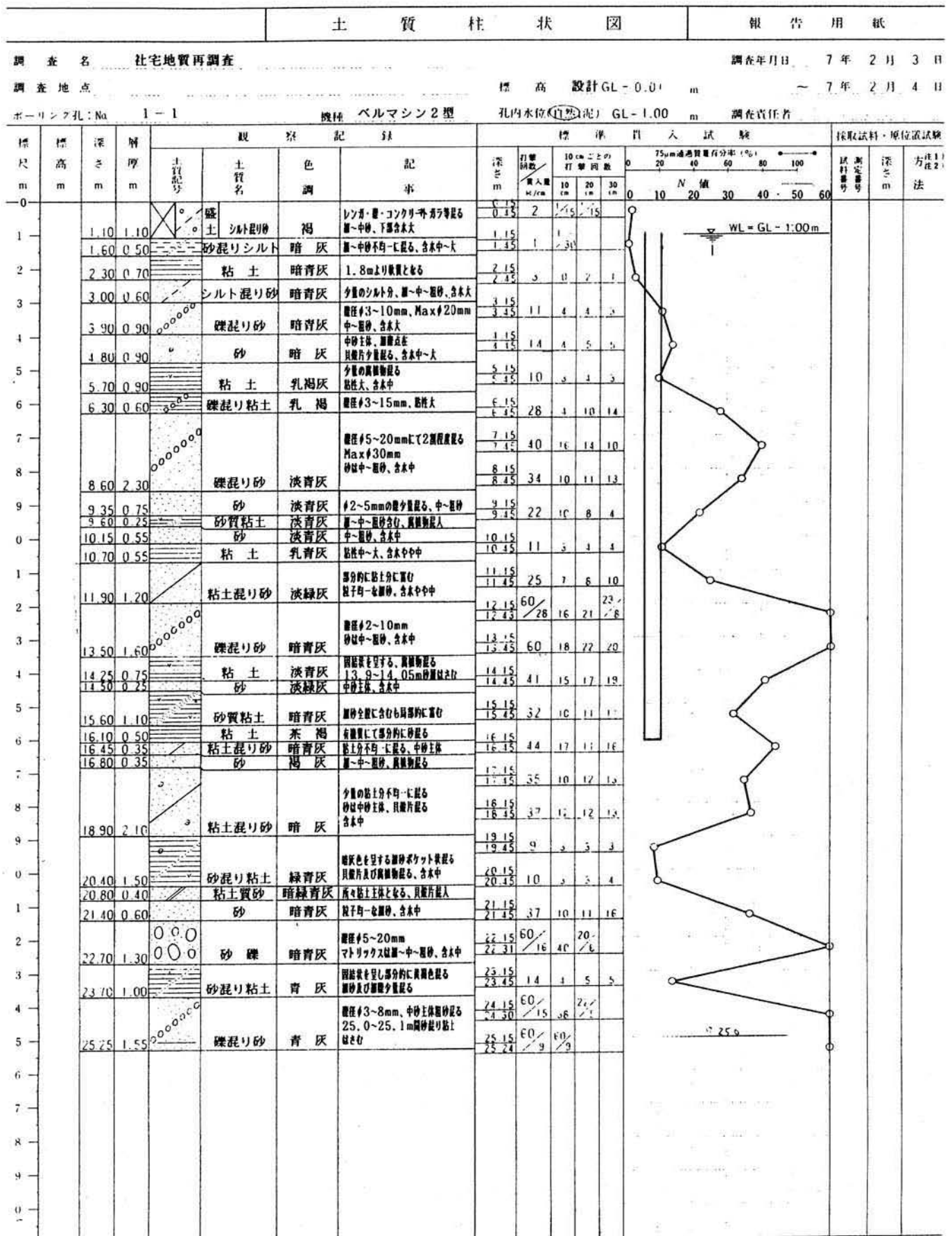
1 階平面図

2.3.4 階平面図

基礎伏回 $S: 1/100$



8. A 共同住宅の土質柱状図



備考

注1) 試料採取方法の記号

T: シンワールサンフラー F: ファイルサンフラー
P: 標準貫入試験用サンフラー O: オーク
D: デュロメーター

注2) 原位置試験方法の記号

土質柱状図

報告用紙

調査名 社宅地質再調査

調査年月日 7年 2月 3日

調査地点

標高 設計GL-0.13 m

7年 2月 5日

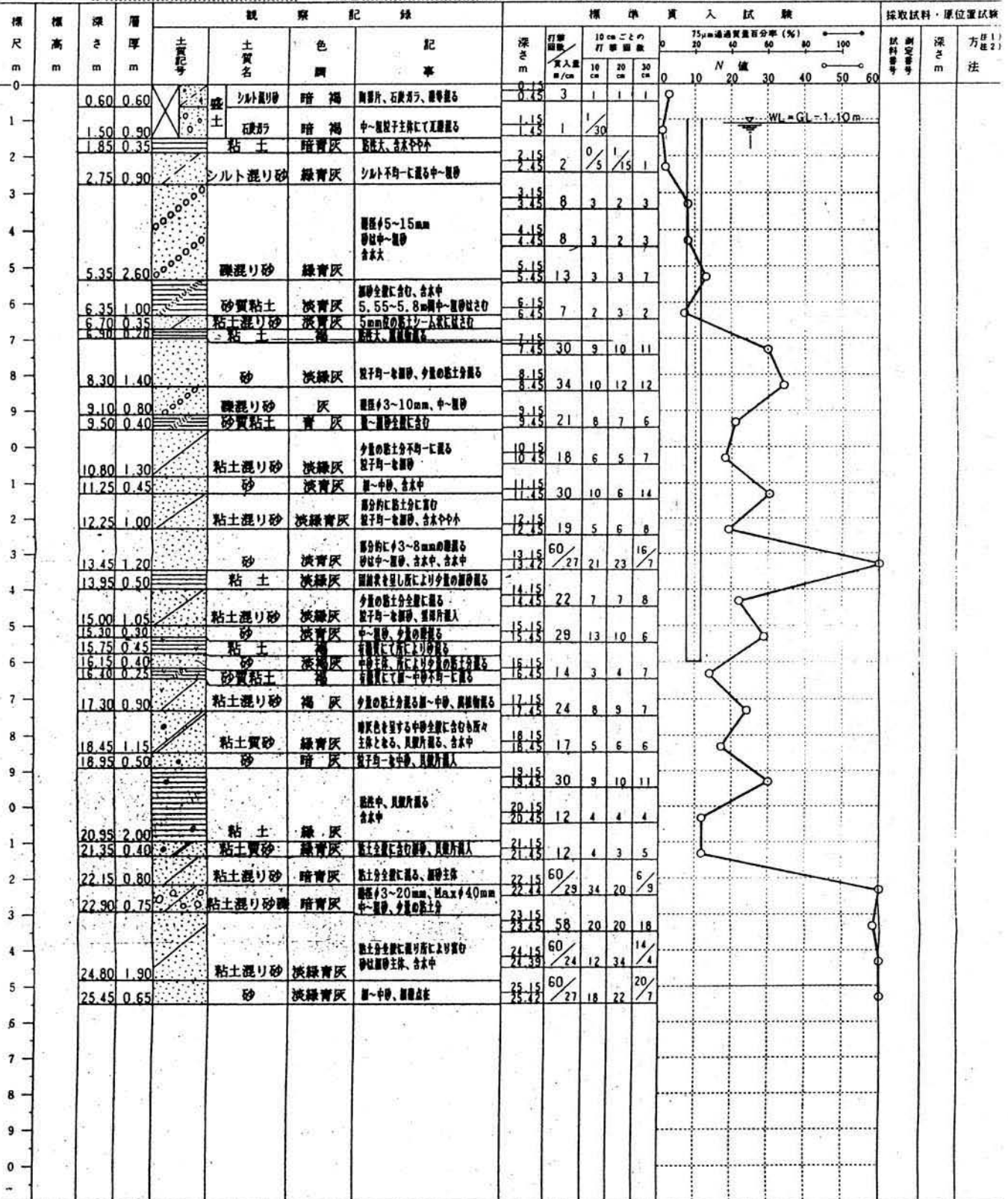
ボーリング孔: Na

3-1

機種 カノー-KR 100型

孔内水位(自然泥) GL-1.10 m

調査責任者



備考

注1) 試料採取方法の記号

T: シンクローサンプラー F: フォイルサンプラー
P: 標準貫入試験用サンプラー O: オーガー
D: デニソン型サンプラー

注2) 原位置試験方法の記号

9. A共同住宅の基礎杭について（平成7年7月26日）

§1. はじめに

A共同住宅の基礎PC杭が、兵庫県南部地震によって被害を受けたので、地震動を水平動 326gal・上下動 396galと仮定し、又地盤の液状化が認められるのでこれも考慮して応力と杭耐力の関係を調べる。

本建物は壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造の4階建共同住宅で、剛性の高い建物である。今回の地震動（この地域では南北動が強いと認められる）に対して建物が損傷を全然受けていないことから、建物の応答は弾性に近い挙動をしたと考えて、建物の応答加速度は地震動の2倍位あったと仮定する。

したがって、建物の応答加速度は大胆に水平動に対しては1階の層せん断力係数を0.7とし、上下動に対しては建物重量を500gal相当分加算することにする。

地震動の仮定gal値は、毎日新聞（H7.2.19朝刊）が気象庁・大学・JR・ガス会社・建設会社などの加速度計から得たデータとして発表したもので、近接地点の値を採用した。

註 CASE 1：原設計 の場合
CASE 2：水平動 326gal の場合
CASE 3：水平動 326gal + 下動 396galの場合 とする。

§2. 建物基礎に作用する応力の算定

1. 建物重量（標準設計24戸の重量を採用）

CASE 3 は $(980+500)/980=1.51$ より $CASE1 \times 1.51$ とする。

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
4 階	314.95 t	314.95 t	475.57 t
3 階	361.75	361.75	546.24
2 階	355.60	355.60	536.96
1 階	355.60	355.60	536.96
基礎	459.00	459.00	639.09

2. 各階の水平せん断力と壁の平均せん断応力度

Q は各階の水平せん断力で建築基準法・同施行令に準拠して算出。

τ は壁の平均せん断応力度で $Q/(\text{壁断面積 } 102,150\text{cm}^2)$ で算出。

	CASE 1 ($C_0=0.2$)		CASE 2 ($C_0=0.7$)		CASE 3 ($C_0=0.7$)	
	Q(t)	τ (kg/cm ²)	Q(t)	τ (kg/cm ²)	Q(t)	τ (kg/cm ²)
4 階	95.6	0.94	339.3	3.32	512.4	5.02
3 階	170.7	1.66	605.9	5.93	914.9	8.96
2 階	230.2	2.25	817.1	8.00	1233.9	12.08
1 階	277.6	2.72	985.4	9.65	1488.0	14.57
基礎	323.5		1146.1		1730.5	

3. 1,5通の各階水平せん断力と転倒モーメントによる柱軸力

CASE 1		CASE 2		CASE 3	
2.635	m → 9.48 t	→ 33.47	→ 50.60		
2.5	→ 16.73	→ 59.77	→ 90.32		
2.5	→ 22.68	→ 80.64	→ 121.77		
2.5	→ 27.42	→ 97.27	→ 146.87		
6.72 m					
	25.0 tm	88.2	133.3		
66.8	41.8	237.6	359.1		
123.5	56.7	439.2	663.5		
192.1	68.6	682.4	1030.7		
↑ 28.6 t	↓ 28.6	↑ 101.5	↓ 101.5		
		↑ 153.4	↓ 153.4		

4. 1,5通の柱鉛直力（長期+下動地震力(CASE3)）

CASE 1 は旧計算書より引用、CASE 3 は CASE 1×1.51 より算出。

CASE 1		CASE 2		CASE 3	
1	5	1	5	1	5
C	32.7 t	32.7	55.9	49.4	84.4
A	36.4	36.4	59.3	55.0	89.5

5. 1,5通の柱鉛直力（長期+下動地震力+水平動地震力）

CASE 1		CASE 2		CASE 3	
1	5	1	5	1	5
C	Max 61.3 t	134.2	157.4	202.8	237.8
	Min 4.1	-68.8	-45.6	-52.0	-69.0
A	65.0	137.9	160.8	208.4	242.9
	7.8	-65.1	-42.2	-98.4	-63.9

§ 3. 基礎杭に作用する応力の算定

1. 1,5通の杭 1 本に作用する鉛直力（長期＋上下動地震力＋水平動地震力）

1-C, 1-A 基礎は 2 本杭、5-C, 5-A 基礎は 3 本杭。

杭 1 本あたりに 7-リング重量を CASE1, 2 は 2.0 t, CASE3 は 3.0 t 加算する。

	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	1	5	1	5	1	5
C	Max 32.7 t	30.2	69.1	54.5	104.4	82.3
	Min 4.1	11.1	32.4	13.2	49.0	20.0
A	34.5	31.3	71.0	55.6	106.2	83.0
	5.9	12.2	30.6	12.1	46.2	18.0

2. 1,5通の杭 1 本に作用する水平力

Q/n にて算出する。

CASE 1	CASE 2	CASE 3
323.5/98=3.30 t	1146.1/98=11.69 t	1730.5/98=17.66 t

2. 1,5通の杭 1 本に生ずる曲げモーメント

液状化に対しては杭頭部平均 N 値（水平地盤反力係数）を 次頁の算定根拠から 0.05 倍低減する。

杭径： B =450mm $E_o = 7 * N_s$ N_s : 杭頭部平均 N 値(1=5.0 m)

	Ns	Eo kg/cm ²	β $10^{-3} * \text{cm}^{-1}$	杭頭曲げモーメント tm		
				杭頭固定		
				Q t		
				CASE 1	CASE 2	CASE 3
				3.30	11.69	17.66
液状化 無し	6.0	42.0	4.20	3.9	13.9	21.0
液状化 有り	0.3	2.10	1.99	8.3	29.4	44.5

	地中部最大曲げモーメント tm					
	杭頭ピッチ					
	Q t					
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 1	CASE 2	CASE 3
	3.30	11.69	17.66			
	モーメント発生 tm 深さ m	モーメント発生 tm 深さ m	モーメント発生 tm 深さ m	モーメント発生 tm 深さ m	モーメント発生 tm 深さ m	モーメント発生 tm 深さ m
液状化 無し	2.5	1.87	9.0	1.87	13.6	1.87
液状化 有り	5.4	3.96	19.0	3.96	28.7	3.96

A 共同住宅の水平地盤反力係数・低減係

表 4.5.1 水平地盤反力係数の低減係数

液状化発生に対する安全率 F_1 の範囲	地表面からの深さ z (m)	水平地盤反力係数に乘じる低減係数 τ_s			
		$N_a \leq 8$	$8 < N_a \leq 14$	$14 < N_a \leq 20$	$20 < N_a$
$F_1 \leq 0.5$	$0 \leq z \leq 10$	0	0	0.05	0.1
	$10 < z \leq 20$	0	0.05	0.1	0.2
$0.5 < F_1 \leq 0.75$	$0 \leq z \leq 10$	0	0.05	0.1	0.2
	$10 < z \leq 20$	0.05	0.1	0.2	0.5
$0.75 < F_1 \leq 1.0$	$0 \leq z \leq 10$	0.05	0.1	0.2	0.5
	$10 < z \leq 20$	0.1	0.2	0.5	1.0

・ No. 3-1 の GL -3.5 m の深さにおける液状化発生の可能性を判定する。

なお、地表面における設計用水平加速度は 200Gal とする。また、地震の想定マグニチュードは 7.5 とする。

(4.5.1) 式において

$$M = 7.5$$

$$r_n = 0.65$$

$$\alpha_{\max} = 200 \text{ Gal (cm/sec}^2\text{)}$$

$$g = 980 \text{ Gal (cm/sec}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_z &= (1.70 \times 1.10) + (1.70 \times 0.40) + (1.50 \times 0.35) + (1.70 \times 1.65) \\ &= 5.88 \text{ (t/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_z' &= (1.70 \times 1.10) + (0.70 \times 0.40) + (0.50 \times 0.35) + (0.70 \times 1.65) \\ &= 3.48 \text{ (t/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

これらを代入すると

$$\tau_d / \sigma_z' = 0.65 \times (200 / 980) \times (5.88 / 3.48) \times (1 - 0.015 \times 3.5) = 0.21$$

(4.5.2)～(4.5.4) 式において

$$\sigma_z' = 3.48 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$N = 7.2 \text{ (コーンブーリ法で自由落下させたので、N 値を 1 割引いた)}$$

$$\Delta N_f = 0 \text{ (図 4.5.2 より)}$$

これらを代入すると

$$N_a = \sqrt{10 / 3.48} \times 7.2 = 12.2$$

液状化抵抗比 τ_1 / σ_z' は

$$\tau_1 / \sigma_z' = 0.14$$

よって、液状化発生に対する安全率 F_1 は

$$F_1 = 0.14 / 0.21 = 0.67 < 1$$

従って、液状化発生の危険度は高い。

§ 4. 基礎杭に作用する応力と杭耐力の対比

杭頭固定の場合を取り上げ、NCS-PCパイプφ450 mm の I.C 図に杭応力をプロットして対比する（種別 B 種）。

註

CASE 1：原設計
CASE 2：水平動 326gal
CASE 3：水平動 326gal・下動 396galの場合
の場合 液状化無し○印・液状化有り●印
の場合 液状化無し□印・液状化有り■印
の場合 液状化無し△印・液状化有り▲印
で表示する。

Mcr：ひび割れ曲げモーメント

Mu：破壊曲げモーメント

Ma：短期許容曲げモーメント

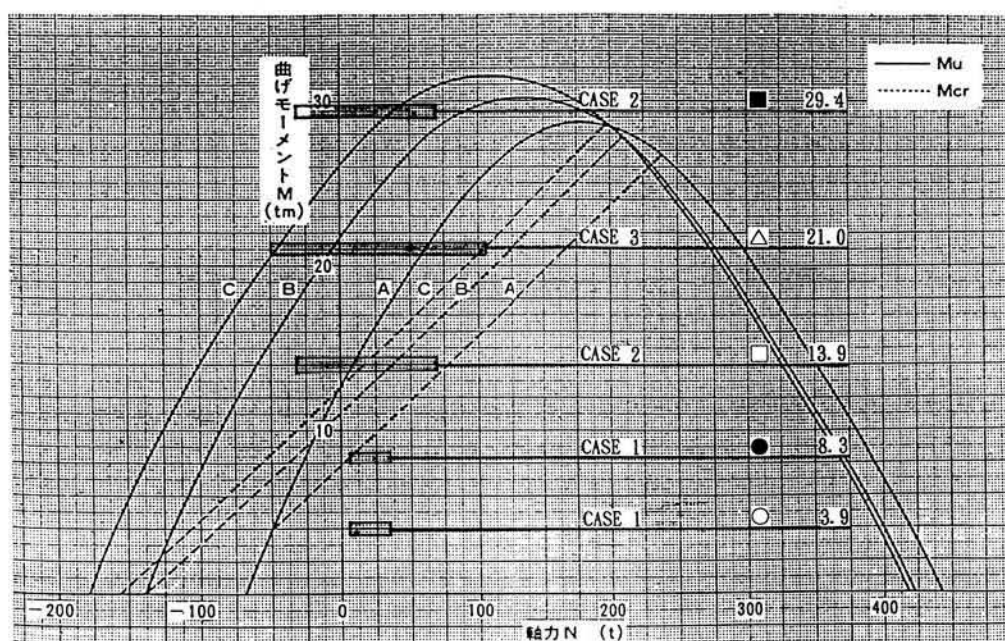


図-22 NCS-PCパイプφ450mm N-Mcr, N-Mu I.C

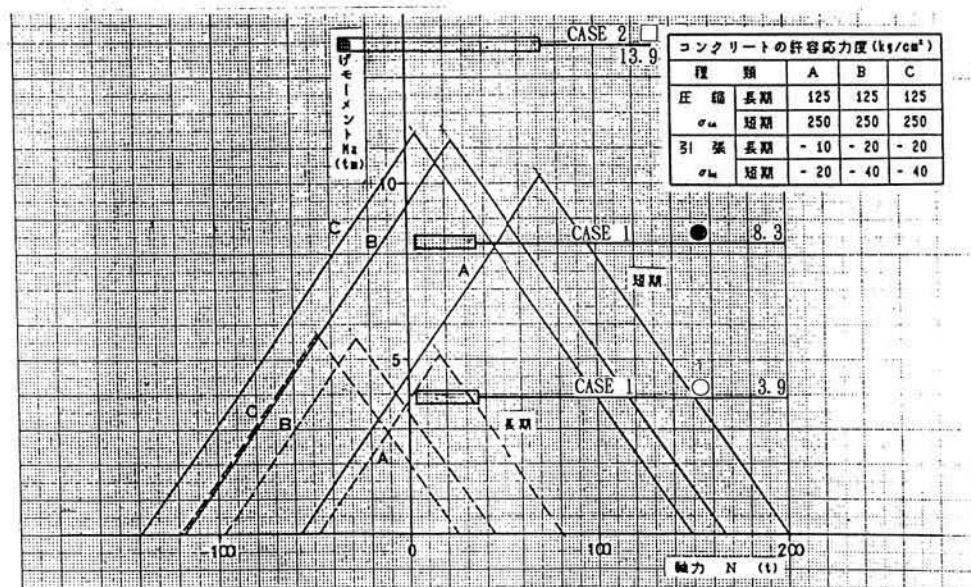


図-16 NCS-PCパイプφ450mm N-Ma I.C

§ 5. 考 察

杭応力と I.C 図を対比すると、

CASE 2 (水平動 326gal)では、液状化しない場合はひび割れ曲げモーメントをオーバーするが破壊曲げモーメントまでには至っていない、しかし液状化すると破壊曲げモーメントをオーバーする。

CASE 3 (水平動 326gal・下動 396gal)では、液状化しない場合でも負の軸力範囲では破壊曲げモーメントを超え、液状化すると完全に破壊する。

非常に大胆な仮定の上の略算であるが、基礎杭が大きく破損したことは、地震動が大きく、又地盤が液状化したことが原因と考えられる。

10. B共同住宅の建物概要及び外観写真

[建物概要]

竣工年度	H 5 年	(新耐震設計法)
建物規模	階 高	4 階
	建築面積	557.6 m ²
	延床面積	2,085.1 m ²
	軒 高	11.7 m
	用 途	共同住宅
構造方式	壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造	
基礎杭	PHC杭 ϕ 450mm B種	l = 10.0m 52.0 t/本

[被害状況]

建物は東西外壁面には全然クラックがなく、南北外壁面には窓開口部のコーナーにヘアークラックが認められるが、不同沈下は生じておらず健全である。

本建物及び近隣の被害状況から推定して地震動は東西動（桁行方向）が強かった模様である。

構内は、一部の歩道・縁石・アスファルト舗装にクラックがあるが、不同沈下・液状化の跡もなく、A共同住宅に比較して被害は非常に少ない。

[建物の外観写真]



[建物の外観写真]



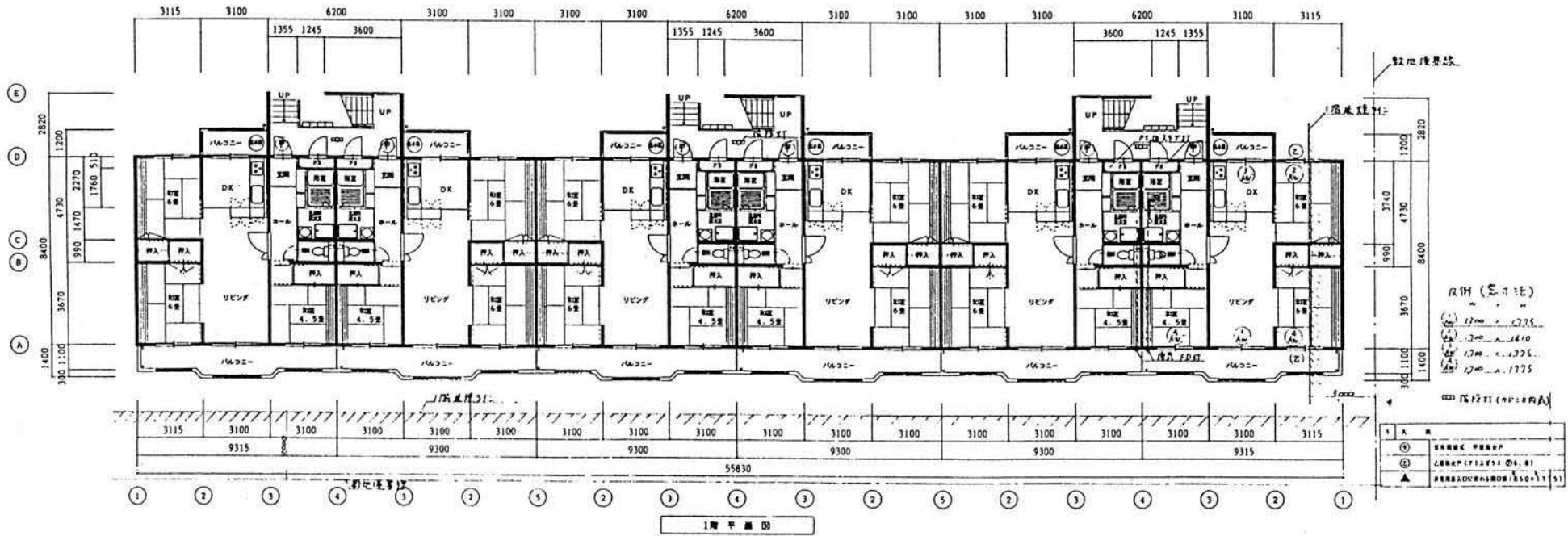
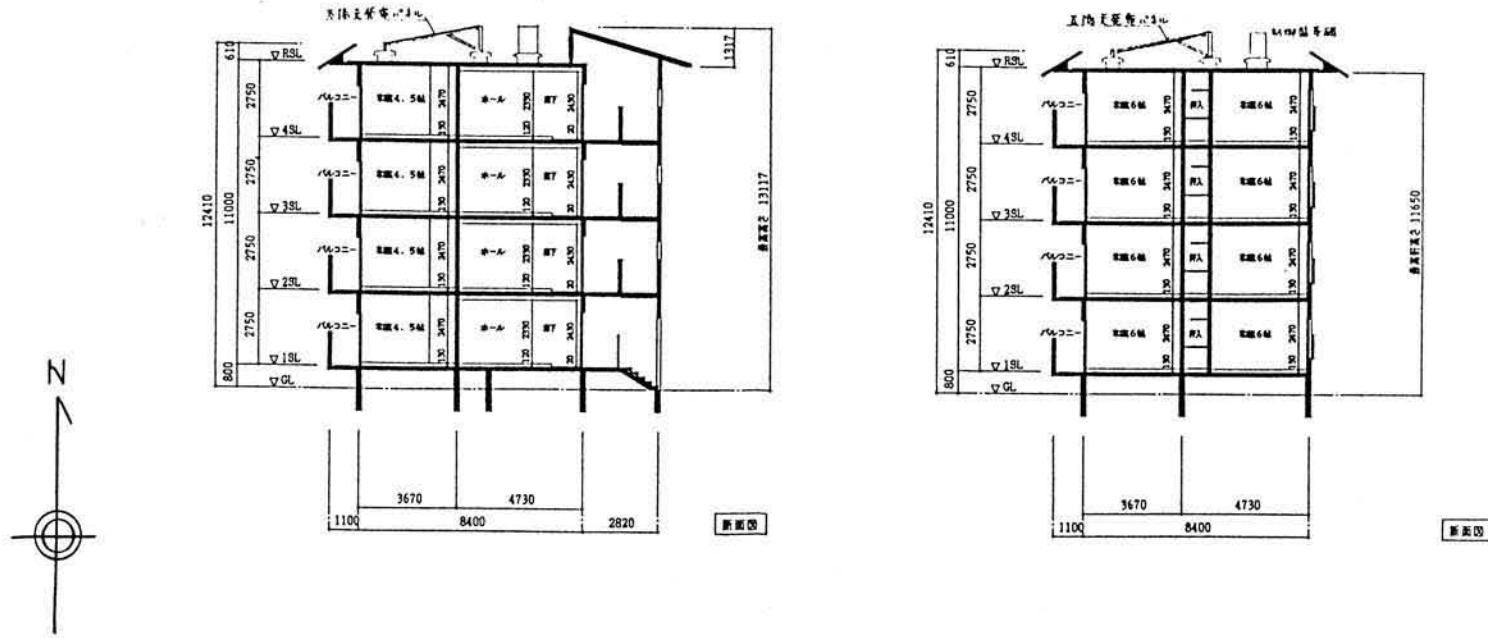
1 1. B共同住宅の基礎杭の損傷状況写真

杭は損傷なし。（調査月日：H7.2.16：赤のスプレーに意味はない。）



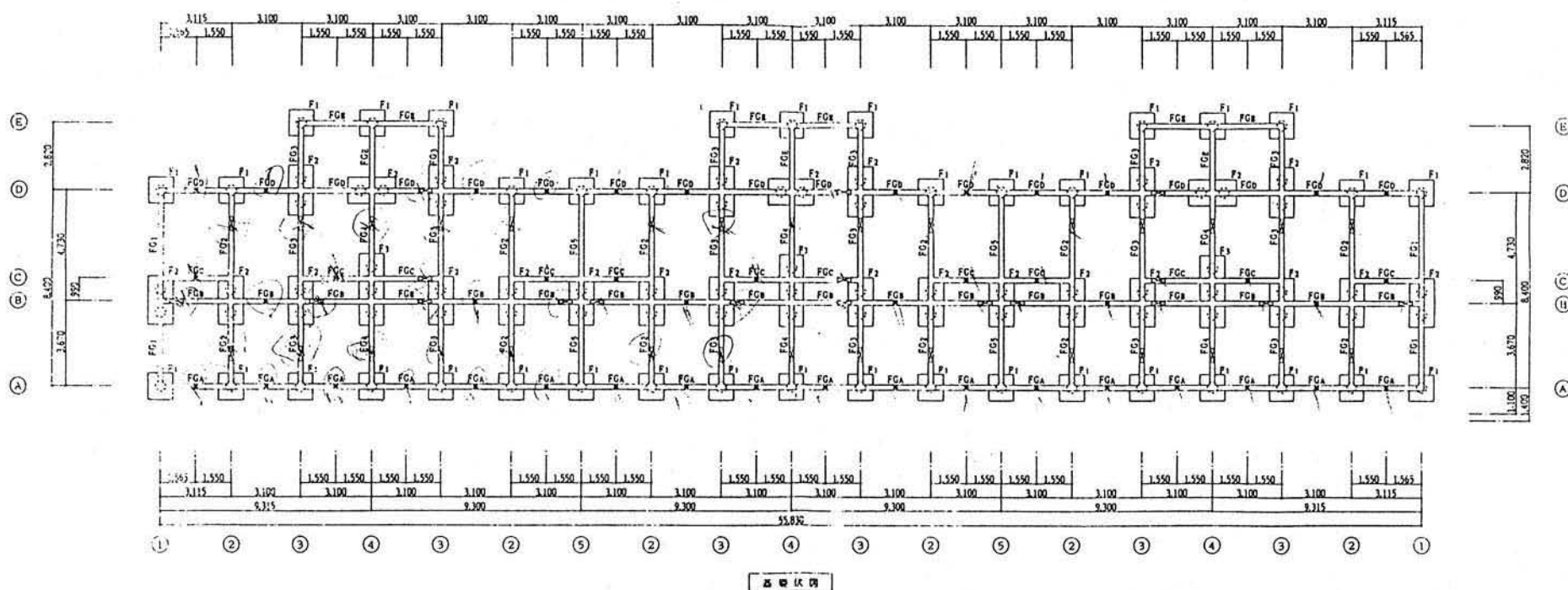


1.2. B 共同住宅の平面図及び断面図



Aタイプ				建設工事				図面No A-005			
1. 2~3階 平面図				縮尺 1/100							

1.3. B 共同住宅の基礎伏図



基礎杭 PHC $\phi = 450$ B種 $l = 10.0$ m 52.0 t/本

[illegible]

14. B共同住宅の土質柱状図

土質柱状図

NO. 1

調査件名 住宅建設工事に伴う調査工事

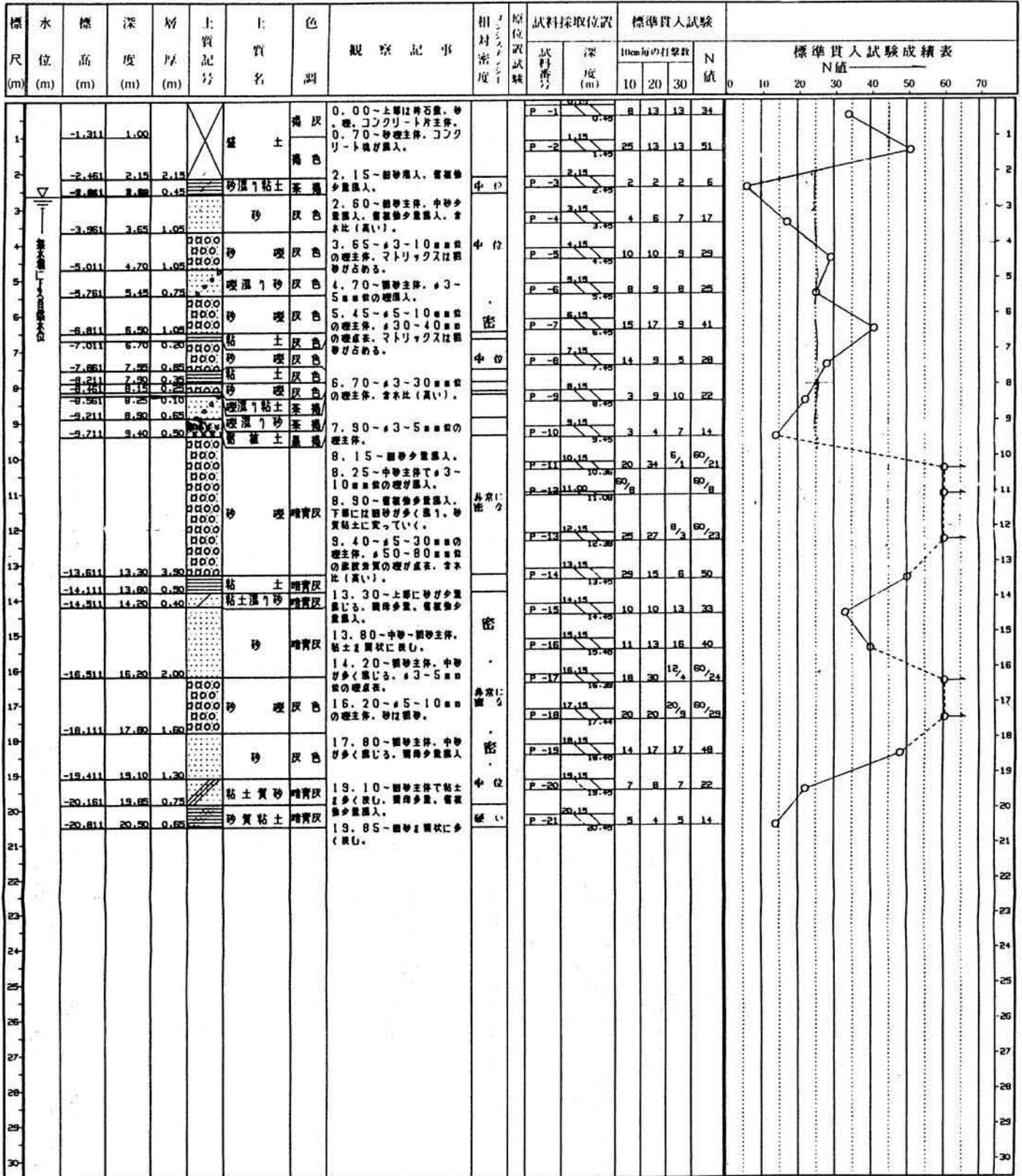
調査場所

標高 変B. M -0.311(M)

調査期間 平成 4 年 9 月 28 日 ~ 9 月 30 日

P2-14B

ロータリー式ボーリング工法	
調査技士	



(注) P.....標準貫入試験

k.....現場透水試験

T.....シンウォールサンプリング

K.....孔内水平載荷試験

D.....デニソンサンプリング

土質柱状図

NO. 2

標高 仮B.M. -0.272(M)

調査件名 社宅建設工事に伴う調査工事

調査場所

調査期間 平成 4 年 9 月 30 日 ~ 10 月 2 日

ロータリー式ボーリング工法	
調査技士	

標尺 (m)	水位 (m)	標高 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	土質記号	土質名	色調	観察記事	相対密度 コシスデンシー	原位置試験	試料採取位置		標準貫入試験		標準貫入試験成績表														
											試料番号	深度 (m)	10cm毎の打撃数			N値	N値												
													10	20	30		0	10	20	30	40	50	60	70					
1		-0.772	0.50			礫土	褐色	0.00~時石及びコンクリート塊主体。 0.50~粘土質砂主体、礫少量混入。			P-1	1.15	3	2	2	7													
2		-1.772	1.50	1.50		砂質粘土	褐色	1.50~細砂主体、細砂少量混入、礫少量混入。			P-2	2.15	1/5	1/25	2														
3		-2.172	1.90	0.40		砂	褐色	1.90~細砂主体、中砂混入。			P-3	3.15	3	4	4	11													
4		-2.472	2.30	0.40		砂質粘土	褐色	2.30~細砂主体、中砂混入、礫少量混入。			P-4	4.15	9	11	12	32													
5		-3.922	3.65	1.05		砂	灰色	2.60~細砂主体、中砂少量混入、礫少量混入、礫比(多い)。			P-5	5.15	7	8	9	21													
6		-6.872	6.60	2.35		砂	灰色	3.65~#5~20mm位の角礫及び角礫主体、中に中砂混入、礫比(多い)。			P-6	6.15	8	9	8	25													
7		-8.122	7.85	1.25		砂	灰色	6.60~中砂主体、#3~5mm位の礫混入。			P-7	7.15	7	8	9	24													
8		-8.622	8.35	0.30		シルト混入砂	茶褐色	7.85~細砂主体、礫土が局所混入する。			P-8	8.15	3	3	8	14													
9		-9.172	8.90	0.55		礫混入砂	茶褐色	8.35~細砂主体、#3~10mm位の礫が混入。			P-9	9.15	4	5/15	2/5	11													
10		-9.572	9.30			砂質粘土	褐色	8.90~細砂少量混入、上部に礫土混入。			P-10	10.15	26	20	14/8	60/28													
11		-9.922	9.65	0.75		礫混入砂	灰色	9.65~細砂主体、#3~5mm位の礫混入。			P-11	11.15	26	34	60/20														
12		-10.422	10.15	0.50		玉石混入砂	灰色	10.15~#5~20mm位の礫主体、#50~100mm位の花コウや流紋岩の太礫、玉石が多く混入する。			P-12	12.00	60/2		60/2														
13		-13.722	13.45	3.30		粘土	褐色	11.30~#80~100mm位の玉石が多く混入する。 #10~50mm位の礫主体、マトリックスは細砂が占める。			P-13	13.00	60/2		60/2														
14						粘土	褐色	13.45~礫少量混入、14.45~礫少量混入、中に細砂混入。			P-14	14.00	4	4	5	13													
15		-16.372	16.10	2.65		礫混入砂	褐色	14.45~礫少量混入、中に細砂混入。			P-15	15.15	4	4	5	13													
16		-17.972	17.70	1.60		砂	褐色	16.10~細砂主体、#3~5mm位の礫混入、若干の粘土分を含む。			P-16	16.15	19	26	15/5	60/25													
17		-19.222	19.55	1.25		砂	褐色	17.70~細砂主体、中砂少量混入。			P-17	17.15	17	21	22/8	60/28													
18		-20.672	20.40	1.45		礫混入砂	灰色	18.95~細砂主体、#3~10mm位の礫混入、礫比(多い)。			P-18	18.15	16	18	21	25													
19											P-19	19.15	27	23	10/4	60/24													
20											P-20	20.15	22	25	13/9	60/25													
21																													
22																													
23																													
24																													
25																													
26																													
27																													
28																													
29																													
30																													

(注) P.....標準貫入試験
T.....シンウォールサンプリング
D.....デニソンサンプリング
k.....現場透水試験
K.....孔内水平載荷試験

15. B共同住宅の基礎杭について（平成7年7月21日）

§1. はじめに

B共同住宅の基礎 PHC 杭は、兵庫県南部地震によって被害を受けていないが、建設地がA共同住宅の東北約 4km と近接しているので地震動をA共同住宅と同じく、水平動 326gal・上下動 396gal と仮定して、杭に対する応力と杭耐力の関係を調べる。

建物の応答加速度はA共同住宅と同じく、水平動に対しては1階の層せん断力係数を 0.7 とし、上下動に対しては建物重量を 500gal 相当分加算することにする。本建物の建設地は液状化していないので液状化の考慮はしない。

註 CASE 1: 原設計 の場合
CASE 2: 水平動 326gal の場合
CASE 3: 水平動 326gal + 下動 396gal の場合 とする。

§2. 建物基礎に作用する応力の算定

1. 建物重量

CASE 3 は $(980+500)/980=1.51$ より CASE1 $\times 1.51$ とする。

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
4 階	551.3 t	551.3 t	832.5 t
3 階	656.2	656.2	990.9
2 階	656.2	656.2	990.9
1 階	656.2	656.2	990.9
基礎	807.7	807.7	1219.6

2. 各階の水平せん断力と壁の平均せん断応力度

Q は各階の水平せん断力で建築基準法・同施行令に準拠して算出。

τ は壁の平均せん断応力度で $Q/(\text{壁断面積 } 225,936\text{cm}^2)$ で算出。

	CASE 1 (Co=0.2)		CASE 2 (Co=0.7)		CASE 3 (Co=0.7)	
	Q(t)	τ (kg/cm ²)	Q(t)	τ (kg/cm ²)	Q(t)	τ (kg/cm ²)
4 階	168.7	0.75	590.6	2.61	891.8	3.95
3 階	305.9	1.35	1070.8	4.74	1616.9	7.16
2 階	416.3	1.84	1457.2	6.45	2200.4	9.74
1 階	504.0	2.23	1763.9	7.81	2663.6	11.79
基礎	584.8		2046.6		3090.5	

3. 1,4通の各階水平せん断力と転倒モーメントによる柱軸力

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
2.75	→ 9.45 t	→ 32.89	→ 49.77
2.75	→ 17.01	→ 59.72	→ 90.22
2.75	→ 23.18	→ 81.27	→ 122.72
3.15	→ 28.10	→ 98.41	→ 148.55
	8.40 m		
	26.0 tm	90.4	136.9
	72.8 46.8	254.6 164.2	385.0 248.1
	136.5 63.7	478.1 223.5	722.5 337.5
	225.0 88.5	788.1 310.0	1190.4 467.9
	↑ 26.8 t ↓ 26.8	↑ 93.8 ↓ 93.8	↑ 141.7 ↓ 141.7

4. 1,4通の柱鉛直力（長期+下動地震力(CASE3)）

CASE 1 は旧計算書より引用、CASE 3 は CASE 1×1.51 より算出。

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
D	1 4 29.3 t 54.8	1 4 29.3 54.8	1 4 44.2 82.7
A	26.5 45.1	26.5 45.1	40.0 68.1

5. 1,4通の柱鉛直力（長期+下動地震力+水平動地震力）

	CASE 1	CASE 2	CASE 3
D	1 4 Max 56.1 t 81.6 Min 2.5 28.0	1 4 123.1 148.6 -64.5 -39.0	1 4 185.9 224.4 -97.5 -59.0
A	53.3 71.9 -0.3 18.3	120.3 138.9 -67.3 -48.7	181.7 209.8 -101.7 -73.6

§ 3. 基礎杭に作用する応力の算定

1. 1,4通の杭 1 本に作用する鉛直力（長期＋上下動地震力＋水平動地震力）

1-D, 1-A, 4-A 基礎は 1 本杭、4-D 基礎は 2 本杭。

杭 1 本あたりにフーチング重量を CASE1, 2 は 2.0 t, CASE3 は 3.0 t 加算する。

	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	1	4	1	4	1	4
D	Max	58.1 t	125.1	76.3	188.9	115.2
	Min	4.5	-62.5	-17.5	-94.5	-26.5
A		55.3	122.3	140.9	184.7	212.8
		1.7	-65.3	-46.7	-98.7	-70.6

2. 1,4通の杭 1 本に作用する水平力

Q/n にて算出する。

CASE 1	CASE 2	CASE 3
584.8/97=6.03 t	2046.6/97=21.10 t	3090.5/97=31.86 t

2. 1,4通の杭 1 本に生ずる曲げモーメント

杭径： B =450mm

Eo = 7*Ns

Ns : 杭頭部平均 N値(1=5.0 m)

	Ns	Eo kg/cm ²	β 10^{-3} cm^{-1}	杭頭曲げモーメント tm		
				杭頭固定		
				Q t		
				CASE 1	CASE 2	CASE 3
				6.03	21.10	31.86
液状化 無し	19.0	133.0	5.69	5.3	18.5	28.0

	地中部最大曲げモーメント tm					
	杭頭ヒソ					
	Q t					
	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	6.03		21.10		31.86	
	モーメント発生 tm	深さ m	モーメント発生 tm	深さ m	モーメント発生 tm	深さ m
液状化 無し	3.4	1.38	12.0	1.38	18.1	1.38

§ 4. 基礎杭に作用する応力と杭耐力の対比

杭頭固定の場合を取り上げ、NCS-PHC パイルφ450 mm の I.C 図に杭応力をプロットして対比する（種別 B 種）。

註

CASE 1：原設計
CASE 2：水平動 326gal
CASE 3：水平動 326gal・下動 396gal
の場合 液状化無し○印
の場合 液状化無し□印
の場合 液状化無し△印
で表示する。

Mcr：ひび割れ曲げモーメント
Ma：短期許容曲げモーメント

Mu：破壊曲げモーメント

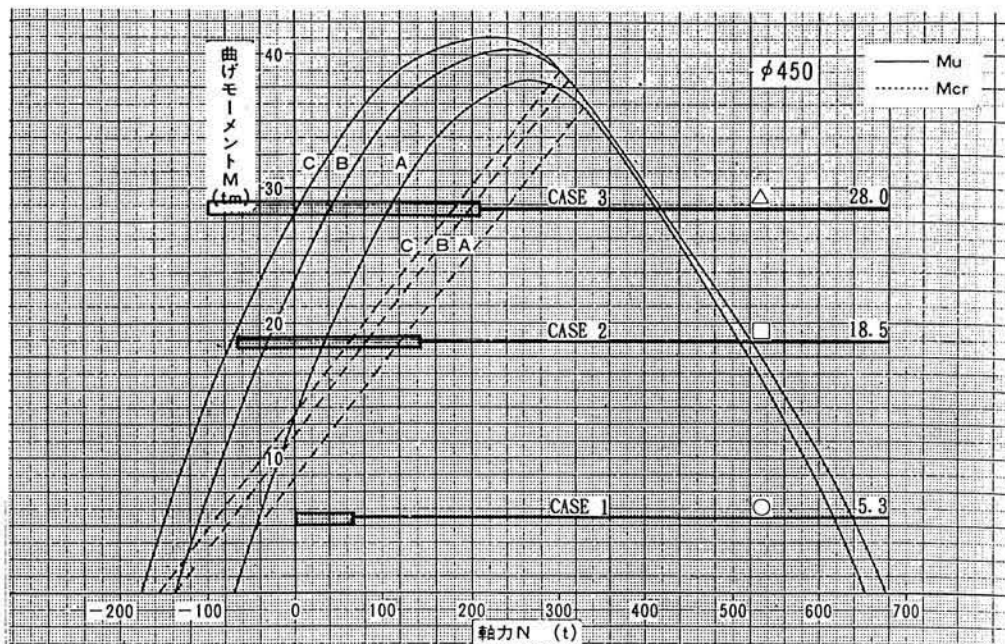


図-37 ONA, Hi-ONAパイルφ450mm N-Mcr, N-Mu I.C

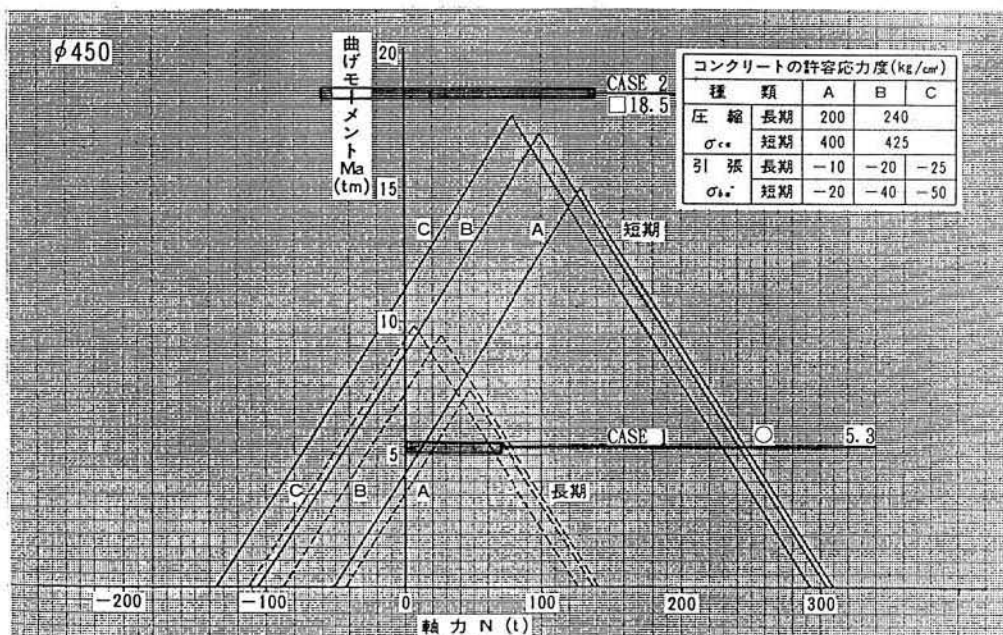


図-28 ONA, Hi-ONAパイルφ450mm N-Ma I.C

§ 4. 考察

杭応力と I.C 図を対比すると、

CASE 2 (水平動 326gal) では、一部の大きな引き抜き力を受ける杭 (短期軸力 -30 t 以下) は破壊曲げモーメントを超える。

CASE 3 (水平動 326gal・下動 396gal) では、短期軸力の小さい杭 (短期軸力 40 t 以下) は破壊曲げモーメントを超える。

本建物の建設地近隣の被害状況と建物南北面の開口部コーナーにヘアークラックが認められた事から考えると、建設地では東西方向に大きく揺れたと考えられる、又本建物の東西方向 (桁行方向) の保有水平耐力がせん断力係数で 0.5 位であることから考えると応答加速度 (せん断力係数 0.7) は過大かも知れぬ。

参考にせん断力係数 0.5 の I.C 図を下図に示す。

いずれにしても地盤が液状化しなかった事が、杭が破損しない大きな原因ではなかろうか。

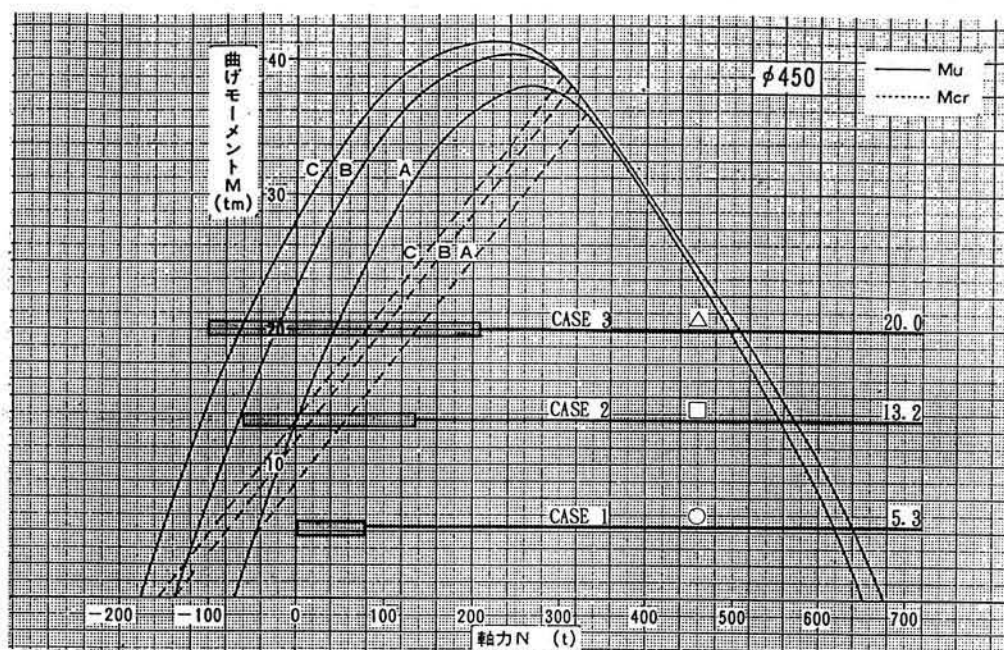


図-37 ONA, Hi-ONAパイルφ450mm N-Mcr, N-Mu I.C

16. 基礎杭の被害についての考察

AおよびB共同住宅は、ほぼ類似した建物（4F・壁式プレキャストRC造）で、建設地も近接（約4kmの離隔）している。また、基礎杭は共に外径450mm・B種で、A共同住宅ではPC杭（500kgf/cm²、長さ ℓ =16m）、B共同住宅ではPHC杭（850kgf/cm²、長さ ℓ =10m）が使用されている。

このような状況下で、両共同住宅に被害（A：傾斜，B：無被害）の相違が見られた要因として、次に示す地盤条件および地震動に関する相違点があげられる。

A共同住宅

- ① 杭先端位置はN値が20～35の中間支持層で、G.L -0.0～-7.0m間はN<10の砂層で地下水位が高い（G.L -1.1m）。したがって、この層での液状化の可能性が高く、支持力の低下も考えられる。
- ② 水平地震動は、剛性の高い梁間方向の水平力が支配的で、建物の応答加速度およびロッキングによる軸力変動の増大が考えられる。また、増大した軸力に対して支持力不足による沈下も考えられる。

B共同住宅

- ① 杭先端位置を砂礫支持層（N>60）としており、杭周面はN=20～30の砂礫まじりの砂層で、地下水位はA共同住宅より低い（G.L -2.7m）。したがって、鉛直支持力が十分期待でき、液状化現象はないと判断される。
- ② 水平地震動は、桁行方向の水平力が支配的で、建物の応答加速度および軸力変動の増大はA共同住宅ほどないと判断される。

以上のことから、A共同住宅は試算にみられるケース2（液状化あり）に、B共同住宅はケース1と2の中間に相当する外力が作用したと判断され、試算と被害の関係から以下のことがいえる。

- ・ 両共同住宅の杭基礎設計において、水平力を考慮した一次設計（耐震設計）の段階では安全である。
- ・ A共同住宅は、一次設計以上の応答加速度による水平力の増大、および液状化による地盤の水平抵抗の減少で杭頭部が破損したものと考えられる。

Ⅲ. 震災後の杭基礎の 耐震設計等についての動向

今回の阪神・淡路大震災を教訓として、土木・建築分野の関係諸機関から基礎を含む構造物の耐震基準等に関して色々な提言がなされているので杭基礎に関係する提言を以下に示す。

[建 築 関 係]

1. 「建築物の構造耐力上の安全確保に係る措置について」（平成7年5月31日付 建設省住宅局建築指導課長通達）における提言・・・（資料 1 参照）

建築震災調査委員会（委員長：岸谷孝一 日本大学教授）では3月28日にそれまでの調査結果を経過報告として取りまとめ、その中で次のような「応急的対応に対する提言」を行っている。

- ①古い建築物についての被害程度が大きいことにかんがみ、既存建築の耐震診断、及びその結果耐震性が著しく劣ると判断された建築物の耐震補強を全国的な課題として推進すべきである。
- ②新しい建築物の被害状況からは、新耐震設計法は妥当と思われるが、今回の被害にかんがみ、建築物の特定の階や平面計画において弱点が生じないようにバランスを考慮し、かつ余裕のある設計を心がけると同時に、丁寧な施工及び綿密な検査を励行すべきである。

この提言の②を受けて建設省では5月31日付けで各特定行政庁建築主務部長あてに「建築物の構造耐力上の安全確保に係る措置について」が通知された。この通達は、今後建築される建築物に対し、建築基準法の運用を徹底することにより、構造耐力上の安全確保を図ることを目的としたものである。

通達の中で構造計算について、次のように取り扱っている。

4. 構造計算について

- 1) 層間変形角（略）
- 2) 地震力に対する基礎の計算

軟弱地盤に建築される建築物の基礎の設計に際しては、「地震力に対する建築基礎の設計指針」の取扱について（昭和59年9月5日付建設省住宅局建築指導課長通達）の別添により、鉛直力に対する安全性のほか、地震力に対する安全性についても構造計算により確認すること。

（注：これまでこの規定は、今後望ましい水準としての推奨規定の取扱いであった。）

2. 『阪神・淡路大震災の建築物の被害状況を踏まえた「建築物耐震基準・設計の解説」』（建設省住宅局建築指導課監修・同省建築研究所編集・（財）日本建築センター発行）における提言

建築震災調査委員会（前出）の調査の中間報告（平成7年7月28日公表）では、今後、新たに設計される建築物について「耐震安全性確保の促進」として現行の耐震設計基準及びその運用について構造種別ごとに検討事項を提言している。そのなかで基礎構造については、次のように述べている。

2. 建築物の耐震安全性確保の促進

（1）鉄筋コンクリート造～（4）木造・・・（省略）

（5）基礎構造

現在、基礎の設計については鉛直支持力のみを確認することが義務づけられているが、今回の地震では杭頭の破損等の被害が生じていることから、地震力に対する安全性を確保するための設計法を検討する必要がある。この場合、液状化や側方流動等の地盤変状、地盤改良、杭配置の影響等を十分考慮する必要がある。また、基礎の地震後の復旧技術の検討が必要である。

（以下省略）

この提言に対して「建築物耐震基準・設計の解説」では現行の各種構造規定のうち、今回の地震被害に密接に係わるものについては「現行規定への補足」として、今後の設計上、特に留意すべき措置とその解説を次のように与えている。

（現行規定への補足）

杭基礎を用いる場合で、中地震時に液状化の発生が危惧される地盤については、液状化時の杭の水平支持力を算定し、必要に応じ、地盤改良等を併用する。

また、耐震安全性の観点から、より余裕のある建築物とするため構造設計において配慮することが望ましい事項を次のように示している。

（余裕のある設計等）

大地震において、杭基礎が破壊しないように設計する。

次に土木関係の提言を示す。

[土 木 関 係]

1. 「土木構造物の耐震基準等に関する提言」（平成7年5月23日付 土木学会「耐震基準等基本問題検討会議」）における提言

土木学会では「耐震基準等基本問題検討会議」の検討事項を整理し、現行耐震基準等を検討する際の基本となる方針を提言としてまとめた。そのなかで次の提言を行っている。

土木構造物が保有すべき耐震性能は構造物の重要度及び設計において想定した地震動の発生頻度等を総合的に考慮して決定されなければならない。

また、耐震基準において新たに考慮すべき事項として次の提案をしている。

- ①構造部材および構造系の変形性能の照査方法
 - ②重要度の高い盛土等の土構造物、擁壁などの土留構造物の耐震性の照査
 - ③液状化等による地盤の水平移動を想定した地盤と構造物基礎との相互作用の評価
 - ④耐震計算における動的解析法の積極的活用
- （以下省略）

2. 「下水道施設に関する耐震設計に係る第二次暫定指針」（平成7年8月3日付 都道府県、政令指定都市及び住宅都市整備公団下水道担当部課長宛建設省都市局公共下水道課建設専門官及び流域下水道課建設専門官連名の事務連絡）における提言・・・（資料 2 参照）

建設省都市局では、下水道地震対策技術調査検討委員会（委員長：平岡正勝 京都大学名誉教授）の「下水道の地震対策についての第二次提言」（平成7年8月3日公表）を受け、「下水道施設に関する耐震設計に係る第二次暫定指針」を定め、平成7年8月3日付けで関係機関へ連絡した。この暫定指針では、基礎杭の耐震設計について次のように規定している。

2. 処理場・ポンプ場の土木構造物の耐震設計手法

（1）基本的考え方

①土木構造物のく体 （省略）

②土木構造物の基礎杭

- ・側方流動が予想される場合にはこれを抑止、またはその影響を軽減する対策を講じることを原則とする。
- ・処理場・ポンプ場の基礎杭の設計に当たっては、通常の設計法により設計を行った後、兵庫県南部地震相当の大きな地震動に対する安全性の照査を実施するものとする。

（以下省略）

3. 「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」（建設省道路局及び都市局）
における提言・・・（資料 3 参照）

建設省では、道路橋についての被災原因の究明と今後の耐震設計のあり方等を検討するため「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会」（委員長：岩崎敏男（財）建設技術研究所理事長）を設置した。

「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」（以下、復旧仕様という）は、同委員会の審議を経て、平成7年2月27日付けで関係機関に通知され、さらに、5月25日には、「道路橋示方書」の改訂が行われるまでの当面の措置として、今後実施される新設橋梁の設計及び既設橋梁の補強についても復旧仕様を参考とすることが通知された。

復旧仕様では耐震設計の基本方針として次のように提言している。

各構造部材の強度を向上させると同時に、変形性能を高めて橋全体系として地震に耐える構造を目指す。このため、以下の事項に留意する。

(1) ～ (5) （省略）

(6) 橋脚基礎は橋脚躯体と同等もしくはそれ以上の耐力と十分な変形性能を有するものとする。

また、橋脚基礎の地震時の耐力および変形性能の照査として橋脚基礎の耐震設計の基本方針を次のように示している。

7. 1 一般

橋脚基礎の耐震設計においては、震度法による設計に加え、橋脚基礎が十分な耐力と変形性能を有することを照査するものとする。

7. 2 地震時の耐力および変形性能の照査の基本的考え方

震度法により耐震設計した橋脚基礎に対し、死荷重および橋脚躯体の地震時保有水平耐力に相当する荷重を作用させ、基礎の各部材が必要な強度を有するとともに基礎全体として十分な耐力および変形性能を有することを照査するものとする。

〔解 説〕

橋脚基礎における耐力および変形性能の照査方法の一つとして、基礎全体の荷重～変位量曲線を用いる方法があるが、杭基礎においては、杭軸方向の支持力における非線形性、杭軸直角方向の地盤抵抗の非線形性、杭体の曲げモーメント～曲率関係等の解析プログラムを用いた設計法の実績が少ないため、当面の杭基礎の照査においては道路橋示方書Ⅳ下部構造編9. 7に規定する変位法を用いて設計してもよい。

4. 『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案）』（平成7年6月 社団法人 日本道路協会）における提言

「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会」（前出）では調査結果の中間報告を3月30日に発表し、そのなかで今後の耐震設計で検討すべき事項がとりまとめられた。

第4章 まとめ

（1）被災特性の検討～（2）主な被災橋梁の被災メカニズムの推定・・・（省略）

（3）今後の耐震設計で検討すべき事項

1）設計地震力の設定・・・（省略）

2）地震時の変形性能及び動的耐力

・（前略）・今回のような激甚な地震に対して構造設計を行うためには、鋼製橋脚や基礎、支承等を含めた構造部材の地震時の変形性能及び動的耐力に対する検討が必要である。（以下省略）

この提言を受け、日本道路協会橋梁委員会では震災対策特別分科会を設置し、復旧仕様の準用についての検討し、設計計算を行う際の補足事項をとりまとめ参考資料を発表した。

その参考資料では次のような方法が示めされている。

1. 2 橋脚基礎の地震時の耐力および変形性能の照査方法

（1）杭基礎の地震時の耐力および変形性能の照査方法

1）道路橋示方書Ⅳ下部構造編9.7に規定する変位法を用いた照査

道路橋示方書Ⅳ下部構造編9.7に規定する変位法を用いて杭基礎に生じる水平変位、杭頭反力、杭体の断面力を算定し、これらの値がそれぞれの制限値より小さいことを照査することとしている。

2）基礎の非線形挙動を考慮した方法による照査

震度法により設計された基礎が上記の変位法によって耐力あるいは変形性能を満足しないと判定された場合には、より詳細な解析により耐力および変形性能を照査する。基礎の非線形挙動については今後検討すべき課題も残されているが当面の運用を以下に示す。

（以下省略）

以上の提案を踏まえ、今後の大規模地震に対し、耐震性を確保するための杭基礎設計に関する留意事項を以下に示す。

1. 液状化時における杭の設計法の見直し
2. 設計手法の見直し
 - (1) 隅柱の杭配置
 - (2) 地層が変化する位置での杭応力の検討
 - (3) 杭材変形特性を反映させた設計
 - (4) 地盤沈下を考慮した設計法
3. 杭頭結合方法・設計手法の標準化
4. 杭本体の耐震性の向上

以 上

平成 7 年 5 月 31 日

建設省住指発第 176 号

特定行政庁建築主務部長 殿

建設省住宅局建築指導課長

建築物の構造耐力上の安全確保に係る措置について

本年、1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災において多数の死傷者を出したことは、誠に遺憾である。

阪神・淡路大震災における建築物の被害の甚大さにかんがみ、建設省としては、建設省住宅局長の私的諮問機関として学識経験者等により構成される建築震災調査委員会を設置し、建築物の被害状況の調査及び被害原因の究明に努めているところであるが、3 月 28 日付けで別添のとおり経過報告が得られたところである。

当該報告においては、「新しい建築物の被害状況からは、新耐震設計法はおおむね妥当と思われるが、今回の被害にかんがみ、建築物の特定の階や平面計画において弱点が生じないようにバランスを考慮し、かつ余裕のある設計を心がけると同時に、丁寧な施工及び綿密な検査を励行すべきである。」との提言を頂いている。

については、建築基準法令の的確な運用を行うことにより、地震による被害の防止に努めるべきであると考えられるので、貴職におかれては、下記の事項に留意の上、必要に応じ建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）第 12 条第 3 項の規定に基づき報告を求めることにより、適正な設計、施工及び検査が行われるよう建築主、設計者、工事監理者、工事施工者等関係者を指導されたい。

また、建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号。以下「令」という。）第 42 条の規定により、地盤が軟弱な区域として特定行政庁が建設大臣の定める

基準に基づいて規則で指定する区域内においては、地震時における地盤の不同沈下による木造建築物の布基礎の破壊の防止を図るため、その土台は一体の鉄筋コンクリート造の布基礎に緊結することとされているので、当該規定の趣旨にかんがみ、軟弱地盤区域の適切な指定に努められたい。

記

1 木造建築物について

1) 土台の緊結（令第42条第2項関係）

建築物が転倒することのないように、土台を布基礎にアンカーボルトで緊結すること。

2) 筋かい及び構造耐力上主要な部分である継手又は仕口の緊結（令第45条及び令第47条関係）

地震時における筋かいの踏み外しを防止するため、筋かいが水平力を十分に負担し得るように、筋かいの端部を、柱とはりその他の横架材との仕口に接近して、住宅金融公庫融資住宅木造住宅工事共通仕様書（以下「木造住宅工事共通仕様書」という。）を参考として金物を適切に使用し、緊結すること。

また、構造耐力上主要な部分である継手又は仕口についても、木造住宅工事共通仕様書を参考として、地震時におけるその部分の存在応力を確実に伝えるよう緊結すること。

3) 防蟻処理（令第49条関係）

しろありの被害により木造の建築物の柱、土台等の強度が不足することがないように、しろあり防除の徹底を図ること。なお、しろあり防除については、（社）日本しろあり対策協会による「木造建築物等防腐・防蟻・防虫処理対策技術指針・同解説改訂版」を参考として、環境汚染の防止、作業上の安全確保等に配慮した施工工法を採用すること。

2. 鉄骨造建築物について

1) 軽量形鋼の厚さ

軽量形鋼を建築物に使用する場合は、建築物の剛性及び耐力が不足しない

ように、「軽量鉄骨建築指導規準の取扱いについて」（昭和36年5月31日付け建設省住指発第55号建設省住宅局建築指導課長通達）の別添のⅢの表に基づき、建築物の規模に応じて適切な厚さの鋼材を使用すること。

2)冷間成形角形鋼管の品質

冷間成形角形鋼管は、その製造方法によっては塑性加工による降伏比の上昇等により材料の塑性変形能力が著しく低下することが近年指摘されている。

よって、冷間成形角形鋼管を建築物に使用する場合には、（財）日本建築センターによる「冷間成形角形鋼管評価基準」を参考として、設計者又は工事監理者による品質検査がなされたもの、（財）日本建築センターの審査を受けたもの又は生産・流通関係者による品質保証のなされたものを使用すること。

3)溶接部の品質確保

溶接部が構造耐力上の弱点とならず適正な施工及び検査が行われるように「鉄骨造建築物等の品質適正化について」（平成4年9月30日付け建設省住指発第349号建設省住宅局建築指導課長通達）の記により、原則として、3以上の階数を有し、又は延べ面積が500平方メートルを超える建築物について、施工状況報告書の提出を求めること。

3. 鉄筋コンクリート造建築物

1)主筋と帯筋との緊結（令第77条関係）

主筋の座屈及びそれに伴うコンクリートのはらみ出しを防止するため、帯筋は、その端部をおおよそ135°に折り曲げること、その両端を溶接すること等により、主筋と緊結すること。

2)鉄筋のガス圧接継手（令第73条関係）

主筋又は耐力壁の鉄筋の継手を令第73条第5項の規定により同条第1項から第4項までの規定が適用されないガス圧接継手とした建築物については、当該ガス圧接継手に係る施工者以外の者による検査を徹底すること。なお、検査に際しては、（社）日本圧接協会による「鉄筋のガス圧接工事標準仕様書」を参考とすること。

3)コンクリート工事の適正化

コンクリートの強度不足、塩害又はアルカリ骨材反応を防ぎコンクリート

工事の適正化を図るため、「コンクリートの耐久性確保に係る措置について」
（昭和61年6月2日付け建設省住指発第142号建設省住宅局建築指導課
長通達）のⅠの3により、原則として、3以上の階数を有し、又は延べ面積
が500平方メートルを超える建築物について、施工計画報告書及び施工結
果報告書の提出を求めること。

4. 構造計算について

1) 層間変形角（令第82条の2関係）

建築物が偏心を有する場合には、層間変形角は、各階において最も変形の
大きくなる最外縁の軸組及び耐力壁線において算定すること。ただし、令第
82条の3第1号に定める剛性率を計算する場合には、層間変形角は、剛心
において算定すること。

2) 地震力に対する基礎の設計

軟弱地盤に建築される建築物の基礎の設計に際しては、「地震力に対する
建築物の基礎の設計指針」（「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」の
取扱いについて（昭和59年9月5日付け建設省住指発第324号建設省住
宅局建築指導課長通達）の別添）により、鉛直力に対する安全性のほか、地
震力に対する安全性についても構造計算により確認すること。

資料 2 「下水道施設に関する耐震設計に係る第二次暫定指針」

事務連絡

平成7年8月3日

都道府県下水道担当課長

政令指定都市下水道局計画担当部長

住宅都市整備公団関連施設・交通部

施設第二課長 殿

建設省都市局公共下水道課建設専門官

建設省都市局流域下水道課建設専門官

下水道施設の耐震設計に係る指針について

標記については下水道施設地震対策指針と解説－1981年版－（建設省監修、（社）日本下水道協会発行）及び暫定指針（平成7年4月28日付公共下水道課、流域下水道課両建設専門官名事務連絡）（以下第一次暫定指針という）により実施してきたところであるが、この度下水道地震対策技術調査検討委員会の「下水道の地震対策についての第二次提言」（本日付公共下水道課、流域下水道課両建設専門官名事務連絡により周知）を受け、現在進められている兵庫県南部地震の復旧事業及び全国の新規整備事業に適用するため下記の通り追加（下水道施設に関する耐震設計に係る第二次暫定指針）することとしたので下水道施設の耐震性の向上により一層努められたい。また、貴管下市町村（政令指定都市を除く）に対しても周知徹底方お願いする。

なお、今後委員会の審議を踏まえつつ追加事項等について通知する予定であるので、念のため申し添える。

記

別紙に示す、下水道施設に関する耐震設計に係る第二次暫定指針。なお、本暫定指針は「下水道施設地震対策指針と解説」の内容に優先する。

(別紙)

下水道施設に関する耐震設計に係る第二次暫定指針

1. 下水道施設に関する耐震設計に係る暫定指針（以下第二次暫定指針という。）の位置づけ

下水道地震対策技術調査検討委員会（以下委員会という）は阪神・淡路大震災を契機に、近年の主要な地震による被害も教訓とし、下水道の地震対策を検討することを目的としており、現在進められている復旧事業、新規の整備事業に反映されるべき技術的事項を平成7年4月11日に第一次提言として、8月3日に第二次提言としてとりまとめた。この第二次提言については同日付公共下水道課、流域下水道課両建設専門官名事務連絡により地方公共団体等に周知した。

本暫定指針はこの第二次提言を受け、特に施設の構造面での対策のうち主要なものについて現行の下水道施設地震対策指針と解説－1981年版－（建設省監修、（社）日本下水道協会発行）（以下現行指針という）及び第一次提言を受けた暫定指針（平成7年4月28日付公共下水道課、流域下水道課両建設専門官名事務連絡；以下第一次暫定指針という）に追加すべき事項を示したものである。

なお、建設省では今後委員会の審議をふまえつつ逐次耐震設計に係る指針について追加等していく予定としている。

2. 処理場・ポンプ場の土木構造物の耐震設計手法

(1) 基本的考え方

①土木構造物のく体

- ・土木構造物のく体の耐震設計手法は、基本的に現行指針に従う。

②土木構造物の基礎杭

- ・側方流動が予想される場合にはこれを抑止、またはその影響を軽減する対策を講じることを原則とする。
- ・処理場・ポンプ場の基礎杭の設計に当たっては、通常的设计法により設計を行った後、兵庫県南部地震相当の大きな地震動に対する安全性の照査を実施するものとする。

(参考)

- ・今回の兵庫県南部地震の処理場・ポンプ場の被害調査結果によると、大きな被害の多くは基礎杭の損傷によるものと考えられ、土木構造物く体の損傷はクラック程度であり、大きな被害は見られなかった。従って、第二次暫定指針では、土木構造物の基礎杭については十分な耐震性を確保することとし、土木構造物のく体については現行指針によることとした。

- ・神戸市東灘処理場の被害メカニズムの詳細な解析の結果、側方流動が被害の主

要な一因であることが明らかとなった。従って、基礎杭の設計に当っては、原則として、側方流動を抑止する、あるいはその影響を軽減する対策を別途講じることとし、側方流動による外力は考慮しないこととした。ただし、このような別途の側方流動対策がとれない場合には側方流動圧を設計外力の一つに取り入れた基礎杭の設計をおこなうこととする。

・大きな地震動に対する安全性の照査を実施する重要地点の範囲についてはさらに委員会で検討中であるが、当面、新設の処理場・ポンプ場を対象とする。

(2) 土木構造物のく体の耐震設計手法

- ・土木構造物のく体の耐震設計は現行指針により、震度法を用い、許容応力度により行う。この場合、土木構造物の地下部の標準設計水平震度は0.2を用いるものとする。

(参考)

・土木構造物の地下部に適用する標準設計水平震度に関しては、現行指針では幅のある表現となっているが、今回の委員会の検討により、第二次提言の参考資料に示すとおり地下部の標準水平設計震度として0.2を用いる必要があると判明したためにこのような取り扱いとしたものである。

(3) 土木構造物の基礎杭の耐震設計手法

①側方流動対策

- ・構造物の底版下面が、液状化層の下面より上であって、耐震性を特に考慮していない護岸と下水道構造物の間に遮断できる構造物等がない場合には、側方流動が生じるものとして対策を実施する。
- ・側方流動は、鋼管杭等の構造物による護岸対策、連続地中壁等の応力遮断対策、地盤改良等による地盤強化策等により抑止するものとする。

②基礎杭の耐震設計手法

- ・基礎杭の耐震設計手法は現行指針による手法とする。この場合、地下部に作用する標準水平設計震度は0.2とする。また、液状化する地盤では、地盤の変形係数と横方向地盤反力係数を低減する。低減方法については現行「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」(平成2年2月 (社)日本道路協会)による。

③大きな地震動に対する安全性の照査

- ・大きな地震動としては兵庫県南部地震相当の大きさを考慮し、動的解析等の手法により照査に用いる震度(照査用震度)を設定する。
- ・照査用震度に加え、必要に応じて作用する外力を設定し、震度法を用い終局耐力により大きな地震動に対する安全性の照査を実施する。
- ・この場合の液状化の判定は、現場の不攪乱試料を用いた室内液状化試験の結果等を活用して液状化判定を行う。

(参考)

- ・側方流動は上記した対策により抑止するものとするが、この対策がとれない場合には、側方流動圧を設計外力の一つに取り入れた基礎杭の設計をおこなうものとする。この場合の設計法については十分な検討がなされていないが、当面、委員会第二次提言、資料－３の６－３に示された手法及び諸数値を用いてもよいものとする。

- ・基礎杭の設計上、杭頭へ作用する標準水平設計震度は、委員会第二次提言、資料－３の６、「解析結果の設計法への反映」中に示された考え方を踏まえ、0.2とした。

- ・大きな地震動に対する安全性の照査を行う際の動的解析等に用いる地震動としては、当面、兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で観測された加速度を用いてもよいものとする。

- ・大きな地震動に対する安全性の照査を行う際の照査用震度以外の検討諸元等としては、当面、委員会第二次提言、資料－３の６－３（３）に示すものを用いてもよいものとする。

- ・終局耐力とは対象となる部材の限界状態を指し、例えば杭などでは破壊曲げモーメントが発生した段階とする。

- ・液状化判定は道路橋示方書・同解説、Ⅴ耐震設計編（平成２年２月、（社）日本道路協会）に示す液状化に対する抵抗率（ F_l ）によるものとしている（４月２８日付け第一次暫定指針で通知済み）が、この方法を大規模な地震動による液状化判定に用いることについてはさらに検討を要すると言われている。そこで、このような場合の液状化の判定には、不攪乱試料を用いた室内液状化試験の結果等を活用して判定を行うこととした。具体的な判定法は同書の参考資料Ⅰによるものとする。

３．処理場・ポンプ場内の配管類の継手

- ・処理場・ポンプ場内の、基礎の形式が異なる場所等の配管類の継手は、液状化に伴う沈下量（液状化層厚の４～５％）を考慮した伸縮継手を用いるものとする。

6-3 設計法への反映

(1) 液状化に伴う地盤反力係数の低減

基礎工上の設計水平震度を一率0.2として、従来の許容応力度法で中規模程度の液状化（ $\beta=1/3$ ）に対応して設計された杭は、今回の地震で東灘処理場において作用したと推定される地震外力（水平震度 $k_h=0.39$ ）に対しても終局耐力内に収まり破壊しないことが確認された。これより、液状化の恐れはあるものの、側方流動の恐れがない場合には、基礎杭の設計は許容応力度法で行うこととする。その適用に際しては、地下部の震度を低減しないものとし、液状化に伴う地盤反力係数の低減は現行指針どおりとする。

(2) 液状化に伴う側方流動

前項の検討で、側方流動に伴い杭に働く外力は比較的大きく、基礎杭で対処するとした場合には現設計法では対応できないことがわかった。しかし、側方流動は立地条件でいえば護岸等近傍における特別な問題と考えられ、かつ護岸構造で対処ができれば、処理施設で対処する必要のない、比較的希な検討事項であるのも事実である。したがって、基本的には護岸もしくはその近傍で、処理施設とは別に対応策を講ずるべきであると考えられる。

具体的な対策の方法としては、鋼管坑等による護岸対策、連続地中壁等の応力遮断対策、地盤改良等による地盤強化策などが考えられる。

以上のような対応が不可能な場合には、処理施設の基礎工で対処せざるを得ないこととなるが、その場合には終局耐力に基づく照査が必要となる。

(3) 終局耐力に基づく照査

処理場・ポンプ場で特に重要地点に立地するもの、もしくは（2）項に述べた側方流動対策がとり得ない場合には、処理施設の杭基礎に関し、終局耐力に基づく照査が必要となる。ここでは東灘処理場を例として、その概略の設計手順を以下に示す。

- ① 現行指針に基づき、許容応力度法で杭基礎を設計する。
- ② 構造条件、地盤条件が東灘処理場と著しく異なる場合には、動的解析を行い、作用加速度、液状化範囲を新たに設定する。ちなみに東灘処理場の場合、作用加速度は震度換算で $k=0.39$ 、液状化範囲は沖積砂質土以上の砂質土全層とされた。
- ③ 液状化の影響のみが想定される場合には、地震時慣性力および地盤反力係数の低減を考慮して、終局耐力により杭を照査する。東灘処理場の場合この時の地盤

反力係数の低減値 (β) は、 $\beta=1/20\sim 1/50$ と推定された。

- ④ 液状化に伴う側方流動が想定される場合には、③の考慮の他に側方流動圧を作
用させて、終局耐力により杭を照査する。東灘処理場においては、この時の β
 $=1/10$ 、側方流動圧は土被り圧分布形状を基本として、土被り圧と等値を α で表現
した時に $\alpha=0.6\sim 1.0$ と算定された。
- ⑤ 上記③、④の検討に当って杭頭条件は、基本的には杭頭処理法により判断する
が、回転ばね支承としてもよいものとする。東灘処理場においては、 $\phi 350$ P C
杭で、 $k_R=1\times 10^3\text{tm/rad}$ を用いた。

「兵庫県南部地震により被災した 道路橋の復旧に係る仕様」の 準用に関する参考資料(案)

平成 7 年 6 月

社団法人 日本道路協会

兵庫県南部地震により被災した道路橋の
復旧に係る仕様および復旧仕様の解説(案)

平成7年2月

2. 耐震設計の基本方針

道路橋の復旧にあたっては、各構造部材の強度を向上させると同時に、変形性能を高めて橋全体系として地震に耐える構造を目指す。このため、以下の事項に留意するものとする。

- (1) 橋全体系のねばり（変形性能）を向上させるため、震度法による設計に加えて、地震時保有水平耐力を照査する。
- (2) 今回の地震に余裕をもって耐えられる構造であることを動的解析によって照査する。
- (3) 高架橋のように橋梁が連担する場合には、免震支承を用いた弾性固定方式により地震力を分散させる構造系を採用することが望ましい。
- (4) 鉄筋コンクリート橋脚では、所要のじん性率を確保するために十分な帯鉄筋を配置し、かつ軸方向鉄筋の段落しは原則として行わない。
- (5) 鋼製橋脚では、中詰めコンクリートを充填する等により、必要なじん性を確保する。
- (6) 橋脚基礎は橋脚躯体と同等もしくはそれ以上の耐力と十分な変形性能を有するものとする。
- (7) 支承にはゴム支承を用いることが望ましい。また、支承と上部構造の接合部は個々の支承部構造に即した設計を行う。
- (8) 落橋防止装置については、衝撃力の緩和、連結部材の強度の増大、変形性能の向上を図ることにより、けたの橋脚や橋台からの落下を防止できる構造とする。
- (9) 地盤の液状化に伴う地盤流動が予測される地点においては地盤流動の影響を考慮するものとする。

ここでは、復旧にあたって考慮すべき基本的考え方を列挙したものである。

けた、支承、橋脚、橋台、基礎、落橋防止構造等、橋を構成する各部材の設計にあたっては、設計荷重に対して必要な強度を満足するほか、設計荷重を超える地震力に対してもぜい性的な破壊が生じないように変形性能やエネルギー吸収性能を高めることが重要であり、また、構造系にも配慮し、橋全体として地震に耐えることができるようにしなければならない。

- (6) 橋脚基礎の耐力が橋脚躯体の耐力を下まわり、橋脚基礎に被害が生じると地震後の迅速な復旧が困難となる。このため、橋脚基礎は橋脚躯体と同等もしくはそれ以上の耐力を持たせると同時に、十分な変形性能をもたせることが重要である。

- (9) 地盤の液状化の判定および液状化する場合の対策は従来から行っているが、地盤の液状化に伴って地盤流動が生じる場合があるので、これに関する注意を喚起したものである。地盤流動に伴う流動圧の推定法等、今後の研究にゆだねなければならない課題も多いが、こうした現象に十分注意し、可能な範囲で対策を講じるものとする。また、橋周辺に存在する盛土や護岸が大地震時に損傷することもあるが、こうしたことが起こっても、その影響が基礎に直接及びにくい構造としておかなければならない。このためには、可能な範囲で盛土や護岸から離れた位置に基礎を設けることが望ましいが、これができない場合には、基礎の補強を含めて総合的に検討するのがよい。

7. 橋脚基礎の地震時の耐力および変形性能の照査

7. 1 一般

橋脚基礎の耐震設計においては、震度法による設計に加え、橋脚基礎が十分な耐力と変形性能を有することを照査するものとする。

橋脚基礎の復旧にあたっての耐震設計の基本方針を示したものである。基礎は地中部にあることから、橋脚躯体と比較して損傷の発見が困難であることや、その補修も大規模とならざるを得ない。このため、橋脚基礎が橋脚躯体の地震時保有水平耐力と同等もしくはそれ以上の耐力を有するとともに、十分な変形性能を有するよう耐震設計を行うこととした。

なお、橋台、壁式橋脚の橋軸直角方向およびラーメン橋脚の面内方向の基礎については、当面、震度法で設計すればよい。

7. 2 地震時の耐力および変形性能の照査の基本的考え方

震度法により耐震設計した橋脚基礎に対し、死荷重および橋脚躯体の地震時保有水平耐力に相当する荷重を作用させ、基礎の各部材が必要な強度を有するとともに基礎全体として十分な耐力および変形性能を有していることを照査するものとする。

- 1) 橋脚基礎の地震時の耐力および変形性能の照査にあたって考慮すべき荷重としては、
 - i) フーチング下面に作用する死荷重として、上部構造、橋脚躯体、およびフーチング上載土砂を含めたフーチングの自重
 - ii) 橋脚躯体の地震時保有水平耐力を上部構造の慣性力の作用位置に作用させたときにフーチング下面に生じる断面力が考えられる。これらの荷重を用いて、地震時に橋脚基礎が橋脚躯体と同等以上の耐力および変形性能を有することを照査すればよい。
- 2) 橋脚基礎における耐力および変形性能の照査方法の一つとして、基礎全体の荷重～変位量曲線を用いる方法がある。この方法では、例えば、杭基礎においては、
 - i) 杭軸方向の支持力における非線形性
 - ii) 杭軸直角方向の地盤抵抗の非線形性
 - iii) 杭体の曲げモーメント～曲率関係等の特性を考慮できる解析プログラムが必要となる。しかし、こうした解析プログラムを用いた設計法はまだ実績が少ないため、当面の杭基礎の照査においては、道路橋示方書Ⅳ下部構造編9.7に規定する変位法を用い、次の手順により設計してもよい。
 - ① 道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に規定する震度法による基礎の設計
 - ② 1)の荷重が作用したときに基礎に生じる水平変位量、杭頭反力、杭体の応力度の算定
 - ③ ②で算定した基礎の水平変位量、杭頭反力、杭体の応力度について、それぞれの制限値との照査

上記の方法は、道路橋示方書Ⅳ下部構造編9.7に規定する変位法を基本に、死荷重および橋脚躯体の地震時保有水平耐力に相当する荷重に対して基礎が所要の耐力および変形性能を有

することを照査するためのものである。

③における制限値は、道路橋示方書Ⅳ下部構造編に規定される許容支持力等に対して割増した値を用いてもよい。例えば、震度法に対する杭の地震時の許容支持力としては降伏点よりも多少低めの値に設定しているが、ここでは変形性能の照査に用いることからこれを割増した値としてよい。

直接基礎、ケーソン基礎等他の形式の基礎については、ここで示した考え方に準拠して照査を行ってよい。

なお、ここで示した照査法については今後さらに検討し改良を行っていく必要がある。このため、震度法により設計された基礎が、変位法を用いた照査法によって耐力あるいは変形性能が不十分であると判定された場合には、前述の荷重～変位量曲線を用いた方法など、詳細な解析により耐力および変形性能の照査を行う必要がある。また、液状化による影響が大きい場合や地盤中の相対変位量が大きい場合などでは、別途その影響を考慮して解析する必要がある。

10. 液状化に伴う地盤流動に対する対策

地盤の液状化による地盤流動が予測される地点に下部構造を建設する場合は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編3.7.4の規定に加えて地盤流動の影響を考慮する。

1) 地盤流動が予測される地形および地盤

以下のような場合には、液状化による地盤流動の可能性があるので、この影響を考慮しなければならない。

- i) 下部構造に近接して水路や河川などがあり、液状化による偏土圧が作用する場合
- ii) 液状化層が連続しており、かつ地表面の傾斜または液状化層の傾斜が大きい場合

2) 液状化の判定

液状化の判定は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編3.7による。ただし、液状化の判定を行う必要がある土層の平均粒径 D_{50} は0.02mm以上20mm以下とする。また、これ以外であっても今回の地震で液状化したことが明らかな地点においては詳細な地盤調査を行い、液状化強度を求めるものとする。動的解析により地盤の動的せん断応力を算出し、液状化の判定を行ってもよい。

3) 地盤流動の予測

2)で液状化すると判定された場合で地盤流動が予想されるときは、液状化後の土のせん断剛性を用いた静的有限要素法解析等を行い、液状化前と液状化後の変形量の差を地盤流動量と考えてよい。この解析では、地震力の影響は考慮しなくてもよい。

4) 地盤流動対策

地盤流動の発生が予測される場合は、必要に応じて以下のうち適切な対策をとるのがよい。

- i) 基礎の増強や橋脚天端の拡幅等による設計上の配慮
- ii) 地盤改良等による地盤流動の防止

なお、対策の検討において下部構造の安定計算を行う場合は、5)によるものとする。

5) 下部構造の安定計算法

原則として、下部構造の安定計算は道路橋示方書Ⅳ下部構造編による。その際、液状化による流動圧は3)で求めた地盤流動量をもとに基礎に偏土圧として作用させる。

6) 上部構造への影響

下部構造の変位量が、支承の移動量など上部構造に及ぼす影響について検討する。動的解析結果などを参考として、総合的な検討を加えるのがよい。

兵庫県南部地震被害調査報告書（その２）

発行所 社団法人 コンクリートパイル建設技術協会
(略称 COPITA)

Tel 03(3597)7966 Fax 03(3597)7968

社団法人 コンクリートポール・パイル協会

Tel 03(3503)7381 Fax 03(3503)7384

〒105 東京都港区西新橋 1-1-21

日本酒造会館 3 階

(第 2 版)