

建築基礎構造物の耐震補強技術

茶谷文雄

1. はじめに

基礎の耐震設計の歴史は浅く、古い建物では、基礎の耐震設計自体を行っていないものが多い。したがって、大地震に耐え得る基礎の耐震性能を確保するためには、補強が必要となる建物基礎が数多く存在すると考えられる。このような基礎の耐震補強は、上部構造と同様、耐震診断、診断結果に基づく耐震補強計画の立案、耐震補強の実施、の順序で進めるのが合理的であろう。しかしながら、基礎には、上部構造にない以下のような問題点がある。

1) 基礎は地表面下にあるため、掘削しない限り目視することができず、上部構造と比較して、耐震診断のための調査が難しい。古い建物では、設計図書が残されてなく、基礎形式すら確認できないものもある。耐震診断法も確立されていない。

2) 基礎の補強は、地表面下、場合によっては地下水面下における、既存建物の下部を対象とした作業となることから、施工に種々の制約が伴う。このような制約をクリアーしても、建物下、あるいは建物内部の狭い空間での作業はきわめて効率が悪く、多大な労力と費用が必要となる。したがって、技術的には可能であっても、工期や経済性の観点から現実には補強を断念せざるを得ない場合も少なくない。

このように、基礎の耐震補強に関しては、現実的な対応が難しい状況にあるが、ここでは、耐震診断から耐震補強に到る一応の作業の流れを示し、併せて、阪神大震災で被災した基礎の補修に利用された方法を含む、現状で考えられる補強法を紹介する。なお、基礎の間接的な耐震補強法として、上部構造と基礎を分離し、両者の間に免震装置を介在させる、あるいは上部構造に制振装置を設置するなどして、地震時に基礎に作用する外力の低減を図る方法も考えられるが、これらの方法については別紙を参照されたい。

2. 基本方針

基礎の耐震診断および耐震補強は、下記の方針に基づいて行うことを原則とする。

1) 一般建築物の基礎の耐震診断は、診断に必要な基礎に関する情報が把握できるものについて行う。なお、地盤情報が不明の場合は、必要に応じて地盤調査を行う。

2) 避難施設、歴史的建造物等の重要建築物で、診断に必要な基礎に関する情報が、既存資料から把握できない場合は、必要に応じて、基礎の掘削調査、非破壊試験等による把握を検討する。

3) 耐震診断においては、常時荷重、および上部構造で想定する大地震時における地震時荷重に対する基礎の安

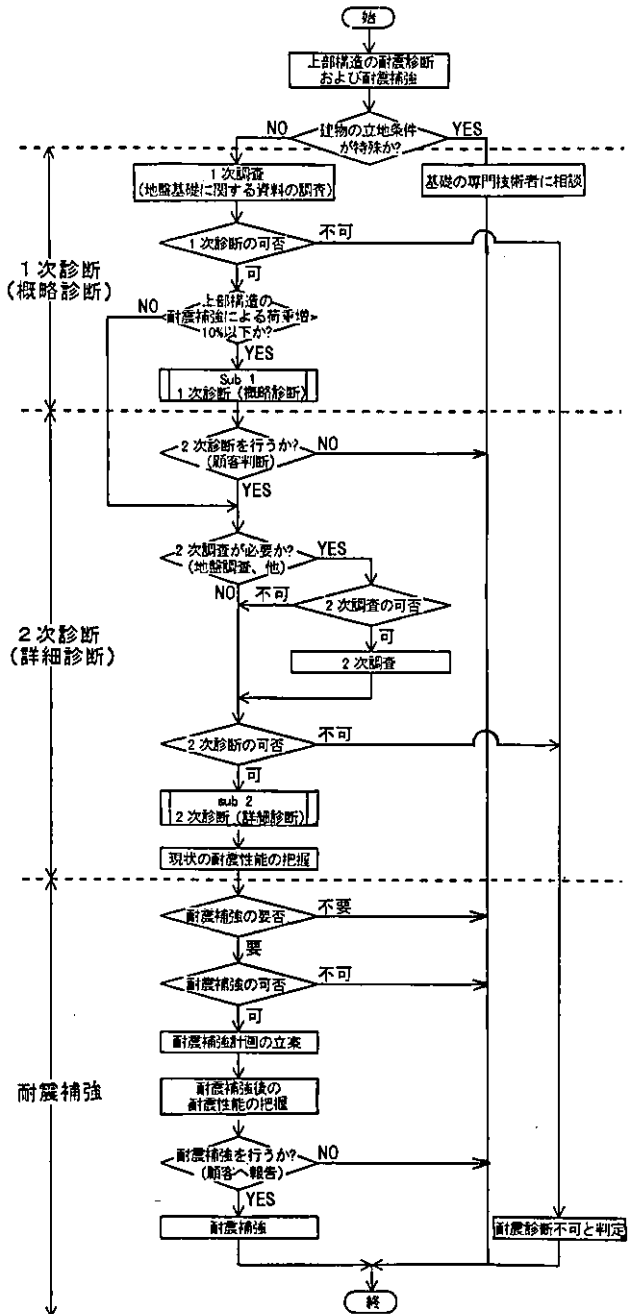


Fig. 1 基礎の耐震診断、耐震補強に関するメインフローチャート
Main Flow Chart for Reinforcement of Earthquake-resistant Foundation of Building

全性を検討する。

4) 基礎の補強は、後述の所定の耐震性能を確保することを目標として計画する。種々の制約から、所定の耐震性能を確保するような補強ができない場合は、現実的に可能な範囲内で補強を行い、補強後の耐震性能を評価することを目標とする。

3. 目標耐震性能

基礎が目標とする耐震性能は下記による。

1) 上部構造の耐震補強による荷重増, その他の常時荷重に対する基礎の抵抗力の安全率は, 原則として3.0を確保する。

2) 上部構造で想定する大地震時に, 基礎に作用する外力に対して, 基礎が崩壊しないような耐震性能を確保する。基礎の鉛直耐力, 浮上がり抵抗力, 水平耐力等の安全率は, 原則として, 日本建築学会「建築耐震設計における保有耐力と変形性能」1990年, に準拠するが, 中・高層の1スパン構造物の地震時における鉛直耐力, 浮上がり抵抗力については, 多スパン構造物と比較して余力が小さいことから, 安全率を1~2割増とする。

4. 耐震診断と補強のフローチャート

基礎の耐震診断および補強に関する検討は, Fig.1のメインフローチャートに沿って行う。耐震診断は, 同図に示すように, 1次の概略診断と2次の詳細診断に分かれている。

1次診断では, 簡単な情報から計算をせずに, 基礎が保有する耐震性能のレベルを推定する。特殊な地盤・地形条件下の敷地に建つ建物や, 塔状比が大きな建物・1スパン構造物等, 地震時軸力変動が大きな建物を対象外とするとともに, 地下室の根入れ効果, および建物の設計年度を考慮する。2次診断では, 基礎が保有する耐震性能のレベルを計算によって数値的に確認する。1次, 2次診断については, 今後検討すべき点もあるが, その概要については文献²⁾を参照されたい。

5. 耐震補強技術

ここでは, 基礎の耐震補強技術を“液状化対策”“直接基礎に関する補強”“杭基礎に関する補強”に分類して紹介する。直接基礎および杭基礎の補強は, 鉛直支持力の増大, 沈下抑制, 水平抵抗力の増大等を目的として行う。これらの補強技術には, 液状化対策と同時に基礎の補強に利用できる方法もある。基礎の耐震補強は, これらの補強技術から, 実状に応じて, 実現性のある方法を選定して行う。

5.1 液状化対策

1) 建物基礎全体の外周部を連続地中壁(以下連壁と略記する)で囲い, 連壁で囲まれた内部の地盤の地震時剪断変形を抑制する (Fig.2参照)。連壁の先端は, 非液状化層に1~2m根入れする。相対する連壁の設置間隔が, 15~20m以下であれば効果がある。連壁のかわりに, 泥水固化壁やソイルセメントコラムの柱列で囲ってもよいが, 剛性が連壁ほど大きくないので, 効果は低下する。施工に当たっては, 建物外周部に施工できるだけのスペースが

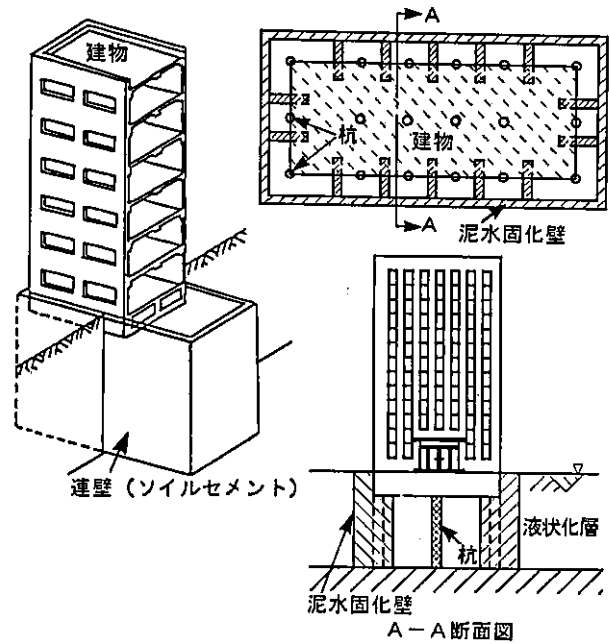


Fig. 2 連続地中壁による液状化対策
Measures against Liquefaction by Diaphragm Wall

Fig. 3 くし型の泥水固化壁による液状化対策
Measures against Liquefaction by Comb-Type Self-hardening Slurry Wall

必要である。

2) 拡幅型連続地中壁掘削機によって, Fig.3に示すようなくし型の泥水固化壁を構築する。泥水固化壁の拡幅は, 片側に約1.2m行うことができる。施工上の制約は1)と同様である。

3) 高压噴射攪拌混合工法を利用して地盤改良を行う (Fig.4参照)。この工法によって地盤中に形成される固化体の柱列を建物底面下の地盤中に格子状に配置するか, あるいは建物底面下の地盤に一面に配置する。建物内の1階床面から施工するためには, 施工機械の制約から4m以上の天井高さが必要である。

5.2 直接基礎の補強

直接基礎については, 地盤の液状化対策を除いて, 補強が必要となる場合は少ないと考えられるが, 補強方法としては, 以下のような傾向がある。

5.2.1 基礎底面積の増大 独立基礎や布基礎について, 基礎スラブのコンクリートの増し打ちによるスラブ幅の増大, または独立基礎から布基礎への変更, 布基礎からべた基礎への変更など, 基礎底面積の増大を図る。その際, 下記のような方法を利用して, 既設と新設の基礎スラブの一体化を図る (Fig.5参照)。

- 1) ケミカルアンカーの利用
- 2) 基礎梁にリブを設置
- 3) 基礎梁の増設

また, 必要に応じて, 既設の基礎スラブ厚, 基礎梁幅を増大させ, 補強する。

5.2.2 地盤の補強 基礎底面下の地盤を地盤改良によって補強する。良好な支持層が深く、改良長が長くなる場合は、“液状化対策”に示した高圧噴射攪拌混合工法が、また、支持層が浅い場合は、基礎下の地盤をラップルコンクリートで置換する方法等が考えられる。

5.2.3 杭の設置による補強 補強方法は、後述の“5.3節の1)”に準じる。必要に応じて、基礎スラブや基礎梁も補強する。設計上、直接基礎部分と杭部分との荷重分担に不明確な部分があるが、支持力の増加と沈下の抑制に効果があると考えられる。

5.3 杭基礎の補強

5.3.1 増し杭 既設の杭に隣接して、下記のような工法によって杭を新設し、既設のフーチングの下に既設杭と新設杭の頭部を一体化するフーチングのコンクリートを増し打ちする (Fig.6 参照)。

(1) 埋込み杭による短尺継ぎ杭工法 地盤を削孔し、短い既製コンクリート杭を継ぎながら所定の深さまで建て込む工法。施工上、必要な最小天井高さは5m程度である。

(2) リバース工法 施工に必要な最小高さを3.5m程度とした、機体高さが低いリバース機がある。

(3) 深礎工法 地下水位が施工深さより深であることが必要である。

(4) 鋼管圧入工法 建物の重量を反力として、1~2mの短い鋼管をジャッキで圧入しては溶接によってつないでいき、所定の深さに達するか、あるいは所定の反力が得られるまで、鋼管杭を圧入設置する工法である。建物自体に反力をとるため、基礎梁、場合によっては上部構造を補強することが必要となる。また、砂礫地盤では圧入不能となることがある。圧入を簡易な鉛直載荷試験とみなすことによって、おおよその支持力を確認できる利点がある。Fig.7は、阪神大震災で被災した既製コンクリート杭の補強法として採用した例である。

上記の他、短辺が1スパン程度の小規模な建物であれば、建物の外周部に剛強な杭を設置し、さらに、建物下に剛強な基礎梁を設置して、その基礎梁と杭とを接続するような工法もある (Fig.8 参照)。

5.3.2 既設杭の頭部の補強 既設杭の周辺地盤を掘削して杭頭部を露出させ、鋼管や炭素繊維を巻くなど、上部構造の柱の補強方法に準じて補強する。あるいは、鋼管杭のような中空の杭であれば、中詰めコンクリートを打設する。

杭頭部の補強には多大な労力を要する一方、下記のような問題点もあるので、採用に当たっては慎重な検討が必要である。

杭周辺地盤が埋戻し土となるため、埋戻し土の転圧、地盤改良等、特別の工夫をしないと、杭周辺地盤の水平抵抗力が低下する可能性がある。

補強範囲が杭頭部だけで、杭体のごく一部に限られる。

5.3.3 連壁の利用 連壁を杭群全体の外周部に数mの深さまで設置し、地震時に杭に作用する水平荷重の軽減

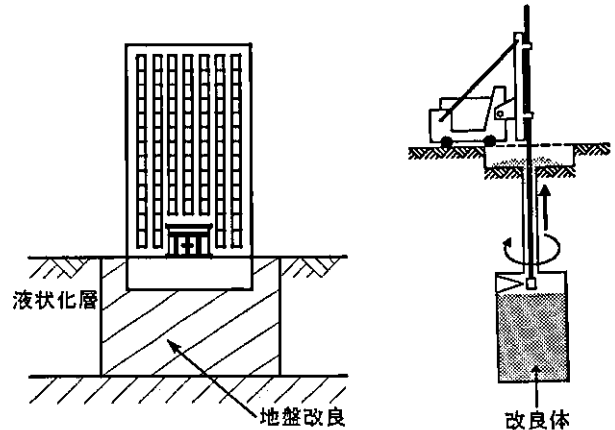


Fig. 4 高圧噴射攪拌混合工法による液状化対策
Measures against Liquefaction
by Soil Improvement using Jet Grouting

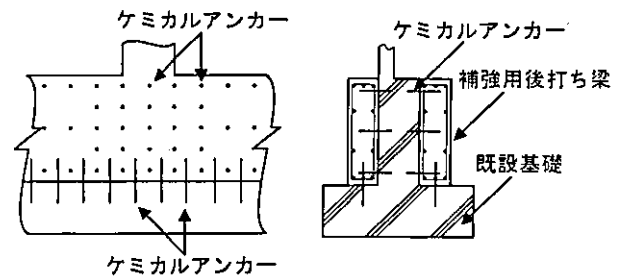


Fig. 5 基礎梁の補強
Reinforcement for Foundation Beam

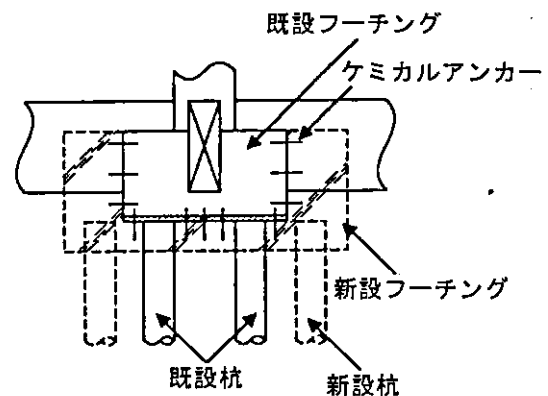


Fig. 6 増し杭による補強
Reinforcement by Adding Piles

を図る。この方法は、連壁に囲まれた内部の地盤の液状化対策にもなる (“5.1節の1), 3)” 参照)。

5.3.4 地盤の補強 基礎底面下の地盤全体を所定の深さまで、高圧噴射攪拌混合工法のような地盤改良によって固化する (“5.1節の3)” 参照)。地盤および杭の鉛直耐力、水平耐力の増大に効果がある。地盤改良に当たっては、既設の杭に損傷を与えないよう留意する。

5.4 その他の補強

1) 地盤沈下地帯にあって、基礎と地盤との間に空隙が生じている場合は、SGグラウトあるいは発泡コンク

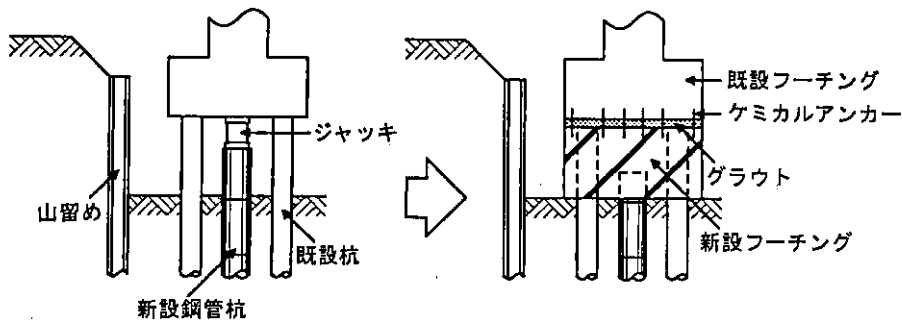


Fig. 7 鋼管圧入工法による増し杭
Reinforcement by Pressed down Steel Piles

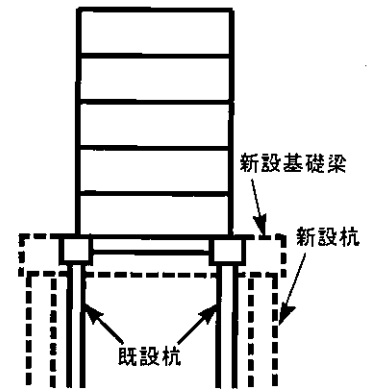


Fig. 8 スパン建物の外周部への増し杭
Reinforcement by Adding Piles and Foundation Beams

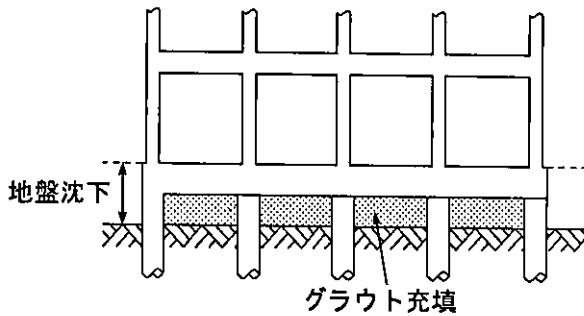


Fig. 9 グラウト充填による地盤沈下への対処
Filling up between Building Base and Ground Surface

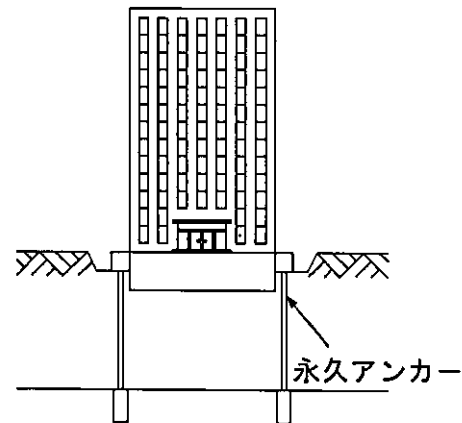


Fig. 10 永久アンカーによる引き抜き力への対処
Prevention of Overturning of Building during Earthquake by Ground Anchor

リート等を充填する。充填材の重量によって再度地盤沈下を生じる可能性があるため、軽量の充填材を使用することが望ましい (Fig.9 参照)。

2) 塔状建物で、地震時に引抜き力が作用する場合は、永久アンカーを利用する。永久アンカーを利用する場合、基礎に対する荷重増加の影響を検討する (Fig.10 参照)。

参考文献

- 1) 理工図書：耐震補強設計施工マニュアル，(1996) (予定)
- 2) 茶谷文雄：杭基礎の耐震設計法，建築技術 No.527, p.78～90, (1994)
- 3) 有泉浩蔵，茶谷文雄，他：建物の根入れ効果を考慮した耐震診断法に関する試案 (その1～4)，日本建築学会大会学術講演梗概集, p.971～978, (1988)
- 4) 志賀敏男：宮城沖地震におけるくいの被害とその復旧，建築技術 No.344, p.79～91, (1980)
- 5) 田村昌仁，他：建物の基礎の被害と復旧方法，建築技術 No.545, p.51～144, (1995)
- 6) 日経B P 社：杭基礎被害の補修，日経アーキテクチャ, p.74～77, (1995)