

阪神・淡路大震災で被災した橋脚下部工の基礎補強 (ハーバーハイウェイの復旧工事)

(株) 青木建設施工本部土木設計部 田村 勲

1 工事の概要

当工事は、平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災で被災した港湾幹線道路（ハーバーハイウェイ；神戸市港湾整備局発注）の橋脚の復旧および補強を実施したもので、その工事概要を報告するものである。

ハーバーハイウェイは六甲アイランドとポートアイランドを結ぶ2層式4車線の高架道路で、大きく分けて「六甲アイランド～高羽」「高羽～摩耶埠頭」「摩耶埠頭～ポートアイランド」の3つの地区からなっている。道路の建設工事は、昭和43年の神戸大橋から始まり、新港～摩耶、六甲連絡橋、六甲～高羽、高羽～摩耶と工事が進められた。今回の補強工事は「高羽～摩耶埠頭間」のうち、摩耶埠頭内で行われた橋脚下部工の補強・復旧を行ったものである。詳細な工事内容（工事数量など）については、当報告の核心ではないので、紙面の都合上省略することとした。

港湾幹線道路のうち、摩耶埠頭内で行われた14基の橋脚の基礎補強について、その概要を紹介する。被災した橋脚は以下に示すように、3つのタイプに分けられる。

P 91～P 94	鋼製ラーメン脚柱＋R Cフーチング（基礎；φ1500ベノト杭）
P 95～P105	R C単2柱式R C橋脚（基礎；φ1500ベノト杭）
P106	R C門型ラーメン橋脚（基礎；φ1500ベノト杭）

これらの橋脚は平成元年～2年にかけて施工されており、比較的新しい橋脚であるが、当時の設計は昭和55年度版の道路橋示方書にもとづいており、地震時の保有水平耐力の照査は行っていない。被災後、これらの橋脚についての外観調査により被災度の調査を行った。その結果、R C脚柱については破壊あるいはコンクリートの脱落、剥離などによる鉄筋の露出などの大きな被害はなく、コンクリートのひび割れ、一部剥離がみられた程度の被害であった。

R C脚柱の地震時保有水平耐力の照査結果によれば、安全性は確保されていたことから、R C脚柱の補強は被災度調査結果のランクに応じて、鋼板補強（エポキシ樹脂注入）および、ひび割れのエポキシ樹脂注入補修を施工した。

しかし、基礎杭について実施されたコアボーリング孔を利用したボアホールカメラによる観察結果および一部の橋脚フーチング下面の掘削調査の結果から、杭頭部あるいは杭中間部にひび割れがみられたことから、全面的に基礎の補強の必要性が認識され、施工環境、工法、工程の各方面からの設計検討の結果、用地および交通切り廻しが可能な橋脚については、フーチングの拡大と新設杭の打設による、増し杭＋増しフーチング工法が採用された。一方、用地の制限や、交通切り廻しの困難な橋脚、さらに上部工の桁下空間の制限のある橋脚については、フーチングの下面全面を地盤改良することによって基礎の安定を確保する地盤改良工法が採用された。したがって、当工事では、この2つの工法で施工された代表的な橋脚基礎の補強設計の考え方および施工について、その概要を報告するものである。

2 基礎補強の考え方

(1) 被災度調査について

被災直後に各橋脚とも柱、梁および基礎杭の被災状況を調査し、その被災度に応じた復旧および補強方法が計画された。

調査内容と結果の概要のみ下記に示し、その詳細な結果については本報告ではふれない。

- ① 全てのRC橋脚について、コンクリートの剥離、ひび割れ状況などについての外観調査を行った。（鋼製橋脚はフーチング）

結果：脚柱の基部付近にコンクリートの曲げひび割れ、剥離が観察された。しかし、鉄筋の露出などの大きな損傷、破壊はなかった。ひび割れは基部付近の他にもGL+4～5m付近にも観察された。

- ② 4～5橋脚ごとに1～2本の場所打ち杭について、コアボーリングを実施し、孔内ボアホールカメラ観察による杭のひび割れ調査を行った。

結果：かなりの本数の杭頭部から-1～2m付近にひび割れが観察された。さらに、いくつかの杭ではくい中間部（杭頭ヒンジの場合のMmax発生位置付近）にもひび割れが観察された。

- ③ 1橋脚では、フーチング周囲を土留めして、フーチングから約1～2m下まで掘削し、杭頭部の被災状況、フーチングの被災状況を調査した。

結果：脚柱のフーチングとの付け根では、コンクリートのひび割れや剥離などの損傷が観察されたが、フーチングそのものにはひび割れなどの損傷はみられなかった。杭頭部の観察結果では、孔内ボアホールカメラ観察でみられたひび割れが実際に確認された。

(2) 補強方針について

この結果から判断して、橋脚の脚柱については、0.5mm以上のひび割れについて鋼板補強（エポキシ樹脂注入）、0.2～0.5mm未満のひび割れに対してはエポキシ樹脂注入補修を行うこととした。基礎については、フーチングには損傷がほとんどみられないことから健全であると判断するが、杭については健全性について問題があると判断された。

復旧工事としての迅速性が要求されるなかで、被災した杭は鉛直荷重に対しては荷重を分担できるが、水平荷重に対しては抵抗できないものと判断して、復旧工事の設計検討が行われることとなった。

この考え方に従って、さらに埋立て地盤（砂質土系）での液状化の判定による水平方向地盤反力係数の低減なども考慮して、様々な対応策（増し杭＋増しフーチング、地下連続壁による剛体基礎、鋼管矢板井筒基礎、地盤改良基礎など）が考えられたが、施工性、工期（早期復旧）の面から、最終的に以下に示す2つの工法が採用されることになった。

- ① 増し杭＋増しフーチング工法

用地的に制限がない橋脚、施工機械の桁下制限が問題ない橋脚などに対して適用。

- ② 地盤改良工法

一般道路の交通確保で増し杭ができない橋脚、フーチング上に移設不可能な支障物がある橋脚などに対して適用。

なお、設計にあたっては道路橋示方書・同解説（平成2年2月）の下部工編および耐震設計編に従い、かつ「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様について」（建設省都市局道路局 平成7年2月27日）に準拠して行った。

3 増し杭+増しフーチング工法の設計および施工

(1) 設計の考え方について

当工区は、摩耶埠頭内での工事であったので、施工環境としては桁下空間の問題はあるものの、一部の橋脚を除いて、フーチングを拡げることが可能であった。このような条件の橋脚は、前述のように、増し杭+増しフーチングによる基礎補強が採用された。(図-1)

増し杭+増しフーチングによる基礎補強の設計の考え方のポイントを以下に示した。

- ① 被災した既設の杭は押込み力には抵抗するが、引抜き力および水平力には抵抗しない。
- ② 許容変位量については新設杭を対象に設定する。
- ③ 新設の杭長は既設の杭長以上とする。
- ④ 新設の杭は $\phi 2000\text{mm}$ (全旋回式オールケーシング工法)とする。(既設杭は $\phi 1500\text{mm}$ であるが工期の関係上、本数を減らす必要があった。)
- ⑤ 増しフーチング厚は張出し基部において 1.0m を原則とする。
- ⑥ 使用する鉄筋径は杭、フーチングともD35を最大とする。
- ⑦ フーチングコンクリートの設計強度は $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ 、杭は呼び強度 $\sigma_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$ とする。
- ⑧ 増しフーチングの鉄筋の接続は、4方向に拡幅するものは樹脂アンカーとし、2方向にしか拡大できないものはエンクローズ溶接を原則とした。これは、フーチングの下面鉄筋が引張主鉄筋となり、新設の増しフーチングの必要鉄筋と既設の鉄筋を確実に接続させなければならない。4方向に拡幅できる場合は、既設のフーチングを覆いかぶせることになるが、2方向の場合はできないので、信頼性の観点から上記の接続法方を採用した。それぞれの接続法方に対しては、引抜き試験、引張試験を行い、特に、エンクローズ溶接に対しては超音波探傷試験も行った。
- ⑨ フーチングの新旧コンクリートの一体化については結合鉄筋を上面については結合面積当たり 0.1% 、側面については 0.2% とし、D19~D25の鉄筋を使用した。また、既設のコンクリート面は目荒らしを行った。

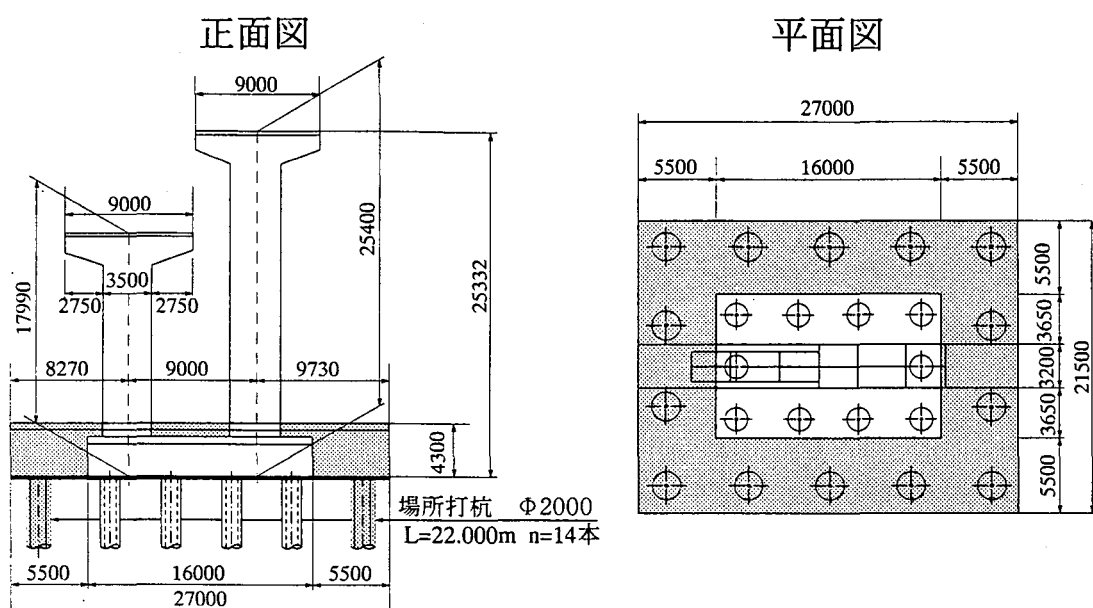


図-1 増し杭+増しフーチングの構造一般図(P100)

(2) 実施工例について

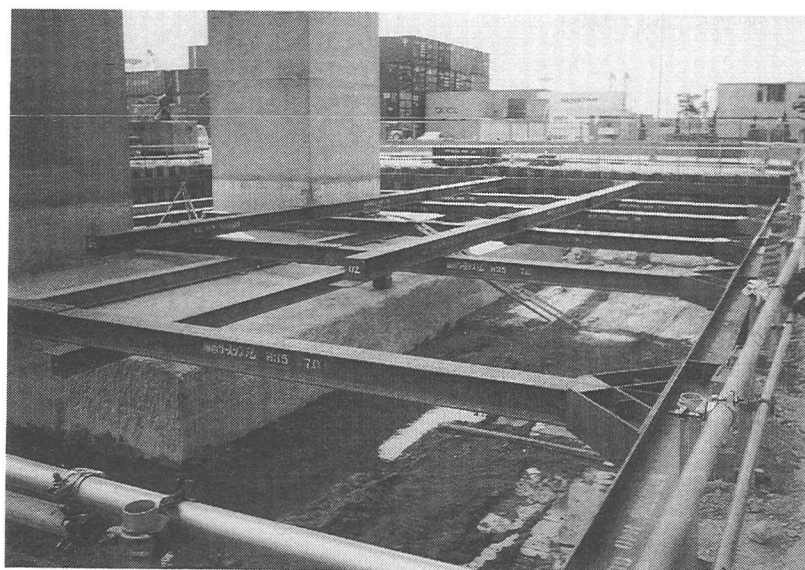
増し杭+増しフーチングで、基礎補強を行った橋脚の施工順序を以下に示した。

- ① フーチング周辺の舗装撤去
- ② 開削用の土留め鋼矢板の打設
- ③ $\phi 2000$ 場所打ち杭の打設（②、③は工程により逆の場合あり）（写真－１）
- ④ フーチング周囲の開削、切梁支保工設置（写真－２）
- ⑤ 掘削床付け、均しコンクリート打設（写真－３）
- ⑥ 杭頭処理、フーチングコンクリート面のはつり（写真－４）
- ⑦ 下面鉄筋の既設鉄筋との接続（樹脂アンカー、エンクローズ溶接継手）（写真－５）
- ⑧ 型枠、下面鉄筋の組立とせん断アンカー筋の設置（写真－６）
- ⑨ 側面、上面の鉄筋の組立
- ⑩ 増しフーチングコンクリートの打設、養生
- ⑪ 脱型、埋戻し
- ⑫ 舗装復旧

写真－１ $\phi 2000$ 場所打ち杭の施工



掘削は $\phi 2000$ の全旋回式
オールケーシング工法。
杭の配筋はD35が２段で、
桁下での施工であった。



掘削深さは約５mで
支保工は１段設置した。

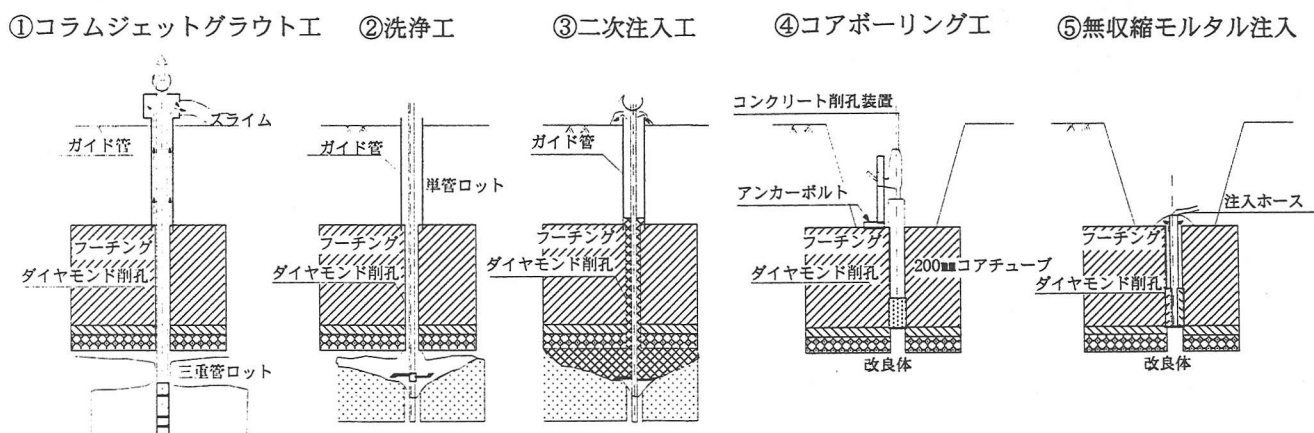
写真－２ 開削、切梁支保工設置

(2) 実施工例について

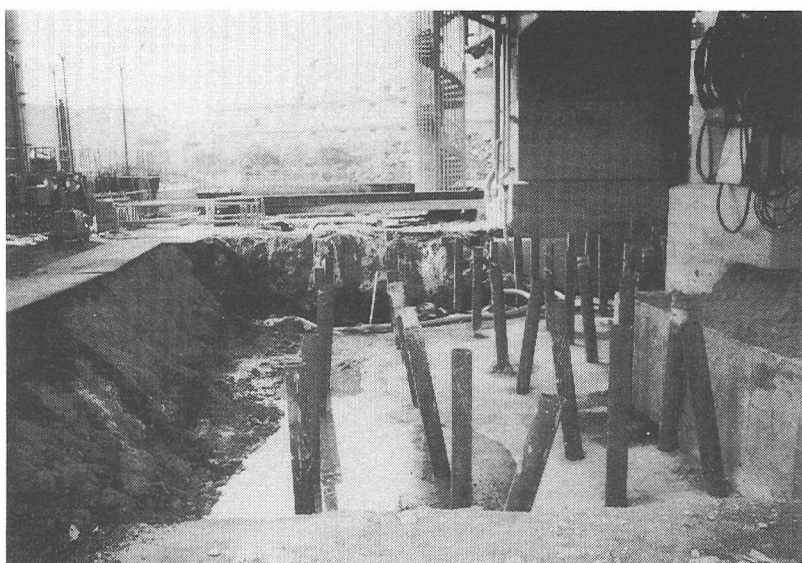
C J G工法による基礎補強の施工順序を以下に示した。

- ① フーチングの削孔（ $\phi 200\text{mm}$ ）およびガイドパイプ（ $\phi 216\text{mm}$ ）建込み。（写真－7）
- ② ケーシングパイプ（ $\phi 142\text{mm}$ ）の挿入および所定深度までのボーリング。
- ③ 改良体造成用の三重管ロッドのケーシングパイプ中への建込み。
- ④ ケーシングパイプの引き抜き後、ジェットイング段取りおよび初期噴射。
- ⑤ ジェットグラウト工の実施。（写真－8）
- ⑥ 三重管ロッドの洗浄・回収およびガイドパイプの撤去。
- ⑦ フーチングコアボーリング孔の無収縮モルタルによる充填後、原形復旧。

これらの施工のなかで、施工上の留意点としては、フーチング下面と地盤改良体との密着性の確保が上げられる。施工中にフーチングを持ち上げることはあってはならないが、少しでも隙間があれば、この基礎の補強方法自体が成り立たなくなる。このため、一次注入時のブリージングが終了した後、二次注入を行いフーチング孔内に改良材を充填させ、最後に、再度フーチング孔内の改良材を削孔除去し、無収縮モルタルを充填することによって解決した。（図－3）

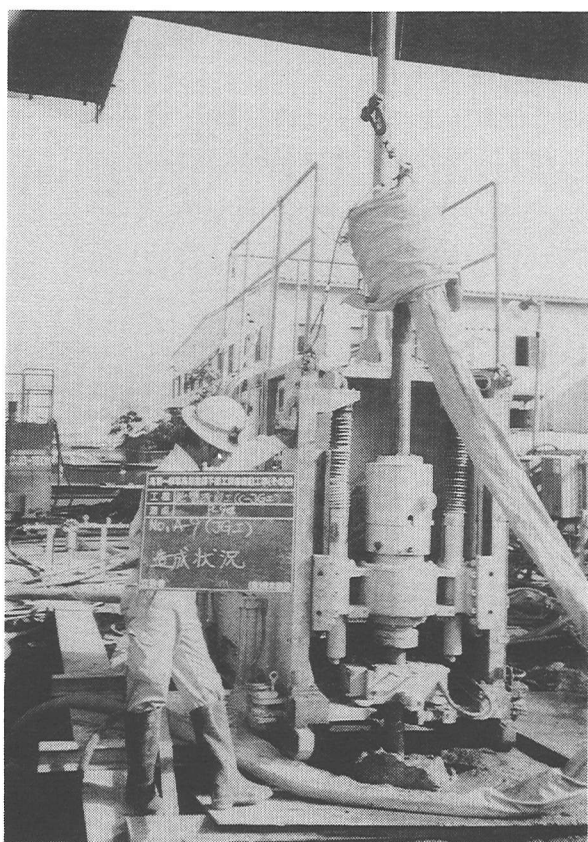


図－3 フーチング下面とC J Gの密着性の確保



写真－7 フーチングの削孔（ $\phi 200\text{mm}$ ）後ガイドパイプ建て込み

削孔は主鉄筋の切断が最小でかつ造成体がラップするような配置で実施。



写真－８ ジェットグラウト工の実施

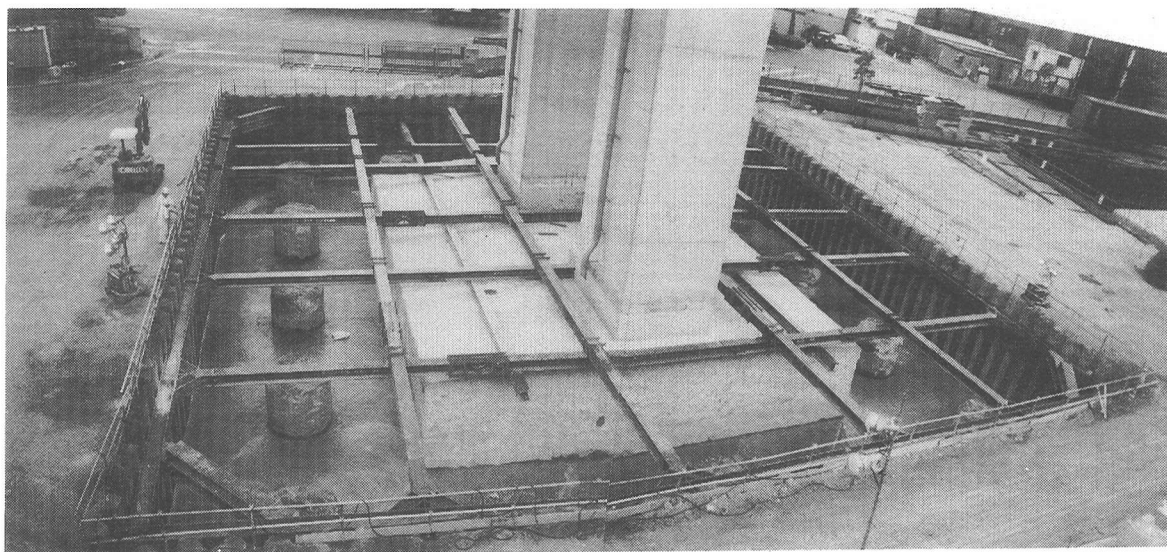
改良地盤は埋め立て土砂（砂質土）で、礫を含むことから設計改良径はφ1800mmとした。

5 まとめ

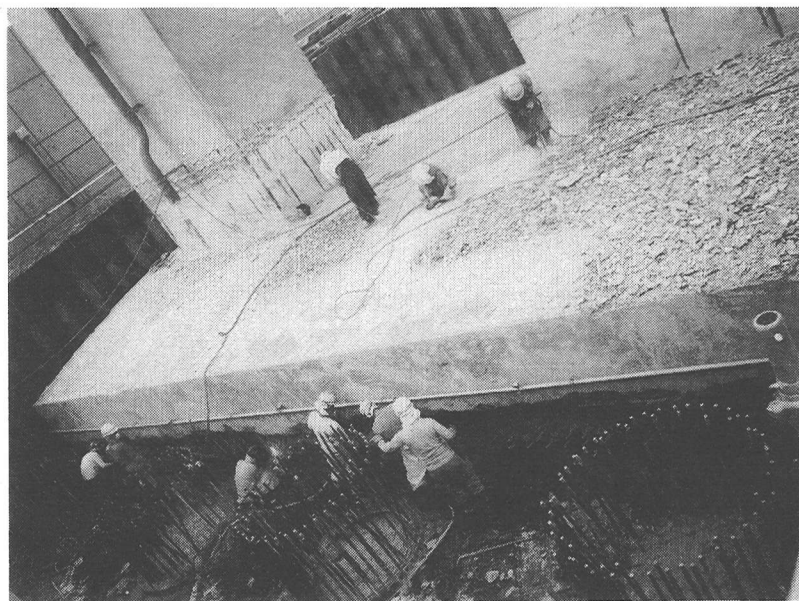
阪神・淡路大震災で被災した橋脚下部工の基礎補強について、その設計の考え方と施工についてその概要を報告したが、被災直後の混乱した施工環境、資材調達、施工機械・設備の確保といった厳しい状況下において、さらに公共交通の早期復旧を成し遂げるべく、実施設計から工事完了、供用開始までの約8ヶ月の限られた期間の中で、無事、橋脚の基礎補強を完成することができたことは、神戸市、設計者および施工業者が一体となって、繰り返し行った技術検討の成果が現れたものと確信している。

最近、首都圏の道路や鉄道の高架橋では橋脚耐震工事が盛んに行われており、橋脚の脚柱の補強はRC巻き立て、鋼板巻き立て、炭素繊維などの巻き立ておよび基部補強アンカーの併用などが行われているが、基礎の補強まで行った事例は少なく、今回の工事が、今後の設計・施工に大いに役立つことを期待するものである。

最後に、この工事の施工の管理、指導をしていただいた神戸市港湾整備局技術部の方々、設計に携わられた（株）オリエンタルコンサルタンツの方々、および実施工に携わられた工事関係者の皆様に感謝する次第である。



写真－３ 掘削床付け、均しコンクリート打設



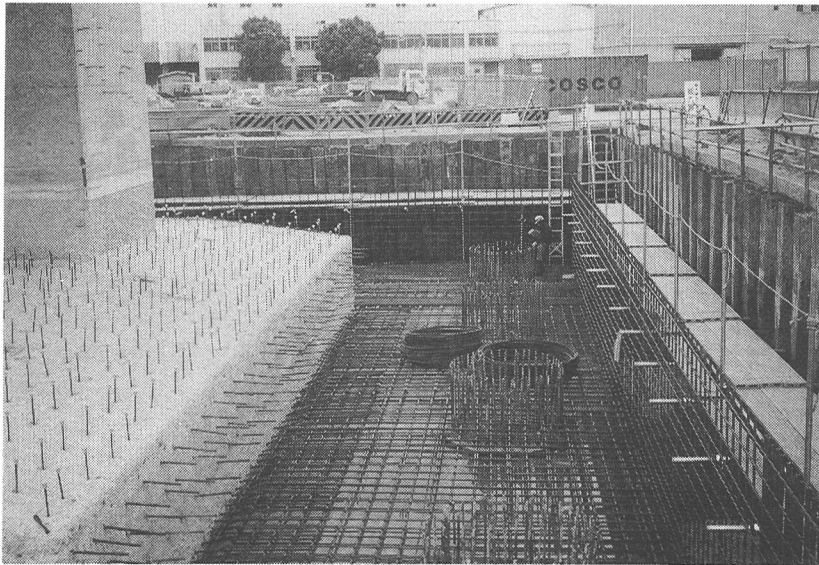
写真－４ フーチングコンクリート面のはつり状態

フーチング上面および側面の
コンクリートのはつりは機械
を使用した。



写真－５ フーチング下面鉄筋の既設鉄筋との接続（エンクローズ溶接継手）

1方向のフーチング拡大では
既設鉄筋と新設鉄筋をエンクロ
ーズ溶接継手とし、超音波探傷
試験を実施。



新旧コンクリートの一体化のため、せん断アンカー筋は上面がD19下面がD25で約50cmピッチ。

写真－6 下面鉄筋の組立とせん断アンカー筋の設置状況

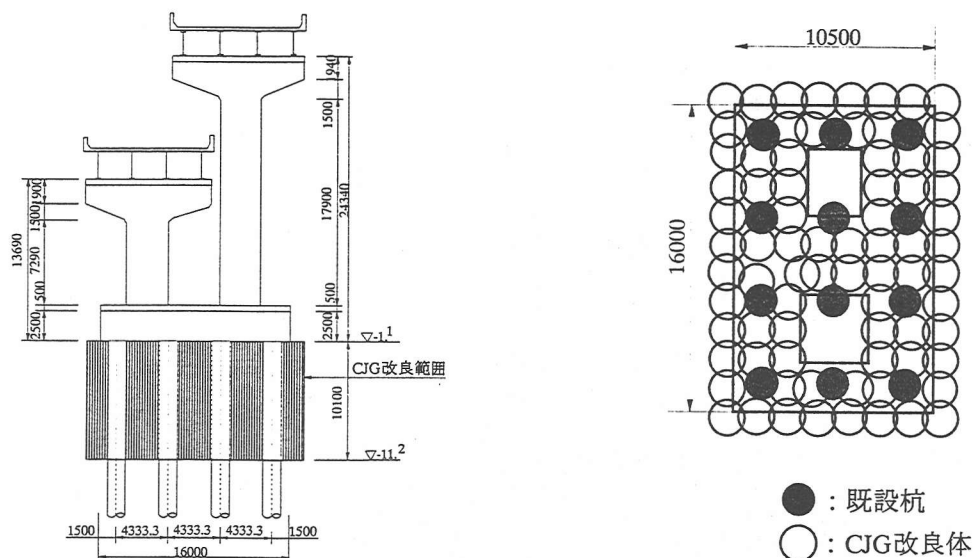
4 地盤改良工法の設計および施工

(1) 設計の考え方について

施工環境によりフーチングを掘ることができない橋脚については、フーチング下部全面を地盤改良する方法が検討された。この地盤改良による基礎補強は、高圧噴射攪拌工法（実際にはコラムジェットグラウト：C J G工法）を採用することになった。（図－2）

この工法による設計の考え方のポイントを以下に示した。

- ① フーチングの安定計算（転倒、滑動、支持力）は、地盤改良体を基礎地盤として考える。
- ② 地盤改良体自体は仮想ケーソン基礎として、安定計算（鉛直地盤反力度、前面地盤反力度、底面せん断地盤反力度、応力度照査など）を行う。さらに、改良体のせん断の照査を行う。
- ③ フーチングに削孔による鉄筋の欠損部は、これを考慮した、断面の応力度照査を行う。
- ④ 造成体設計径は礫をかねているため $\phi 1800\text{mm}$ とし、材料は基本的にJ G－1号を使用する。
- ⑤ 造成体の平面配置は基本的に、フーチング外周はラップ配置、内部は接円以上の配置とし、削孔（ $\phi 200\text{mm}$ ）によって鉄筋の欠損が最小になるようにする。
- ⑥ 造成体は、フーチング下面からN値30以上の地盤に50cm以上根入れする。



図－2 地盤改良工法（C J G工法）の構造一般図(P94)