

河川内における高速道路橋脚の耐震補強

佐伯建設工業（株） 東京支店土木部技術課 永池亀久男
首都高速道路公団 神奈川建設局鶴見航路橋工事事務所 長田光正

1. はじめに

本工事は、首都高速道路高速神奈川1号横羽線の横浜市神奈川区守屋町三丁目他において、鉄筋コンクリート橋脚42本（40基）の耐震性向上のため、鋼鈑巻き立てによる耐震性向上対策を施すものである。

当工区は、RC橋脚の立地条件、施工条件等により、陸上部分と河川部分に大別される。陸上部分のRC橋脚は、角柱および円柱橋脚からなり、それぞれ2タイプの補強方法により施工した。また、河川部分は、すべて円柱橋脚ではあるが、橋脚の形状の差異により、OFFランプ部と一般部（図-1）の2タイプとドライ施工部（図-2）の3タイプの補強工法により施工した。

河川部分の水中部補強鋼鈑を取り付けるためには、橋脚下端まで浚渫する必要がある。しかし、橋脚周辺には既設の河川護岸が近接しており、また、河川護岸の構築時期はかなり古く、基礎形式も不明なため、浚渫による河川護岸の崩壊等が懸念された。河川護岸の安定についての判定は、①河川護岸背面部を含む掘削断面全体の安定、②掘削の法面部の部分的な安定の2点に留意し検討した。安定検討の結果、全橋脚の70%が崩壊の危険性があることが判明したため、浚渫による河川護岸崩壊防止措置を何らかの工法により講じる必要があった。

本報告書は、河川部分における既設河川護岸の崩壊を防止するための山留工の施工方法を中心に記述する。

山留工は、コルゲートパイプを圧入工法にて施工した。圧入工法は、作業足場台船等の作業船の吃水が確保できるか否かで施工方法が異なり、吃水が確保できる場合（水上施工）は、作業足場台船の重量を反力として圧入した。また、吃水が確保できない場合（陸上施工）は、橋脚本体張り出し部に直接反力架台を設置して圧入した。

2. 工事概要

発注者 : 首都高速道路公団神奈川建設局
工事名 : 橋脚耐震性向上工事(K-4) 横浜
路線名 : 高速神奈川1号横羽
工期 : 平成8年6月～平成10年4月

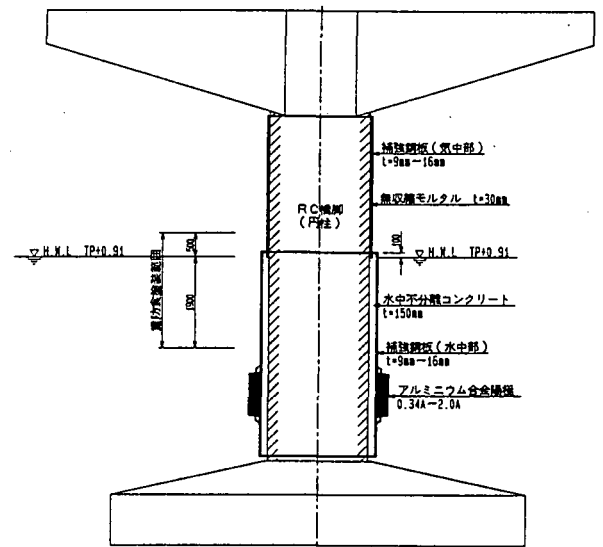


図-1 橋脚補強断面図（一般部）

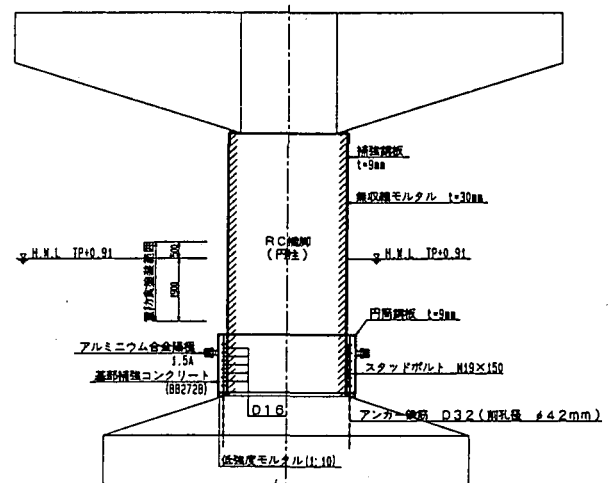


図-2 橋脚補強断面図（ドライ施工部）

キーワード：コルゲートパイプ圧入工法、RC橋脚耐震補強

連絡先：佐伯建設工業（株）東京支店土木部

〒107-8634 東京都港区北青山1-2-3 TEL03-3404-5481 FAX03-3404-7773

場 所 : 横浜市神奈川区守屋町三丁目他(工事延長 1.2km)
 施工者 : 佐伯・酒井特定建設工事共同企業体
 概 要 : R C 橋脚補強 ・ 単 柱 38 本 (38 基)
 ・ ラーメン柱 4 本 (3 基)

実施設計一式

工事区間は、高速神奈川 1 号線の子安入口付近から、東神奈川出入口付近までの工事延長約 1.2km の高架下である。橋脚は、R C 単柱およびラーメン柱で単柱橋脚が大半である。また、R C 橋脚の断面形状は、子安入口付近のラーメン柱 2 本と単柱 3 本は角柱で、残りの橋脚はすべて円柱橋脚である。(図-3)



図-3 施工位置図

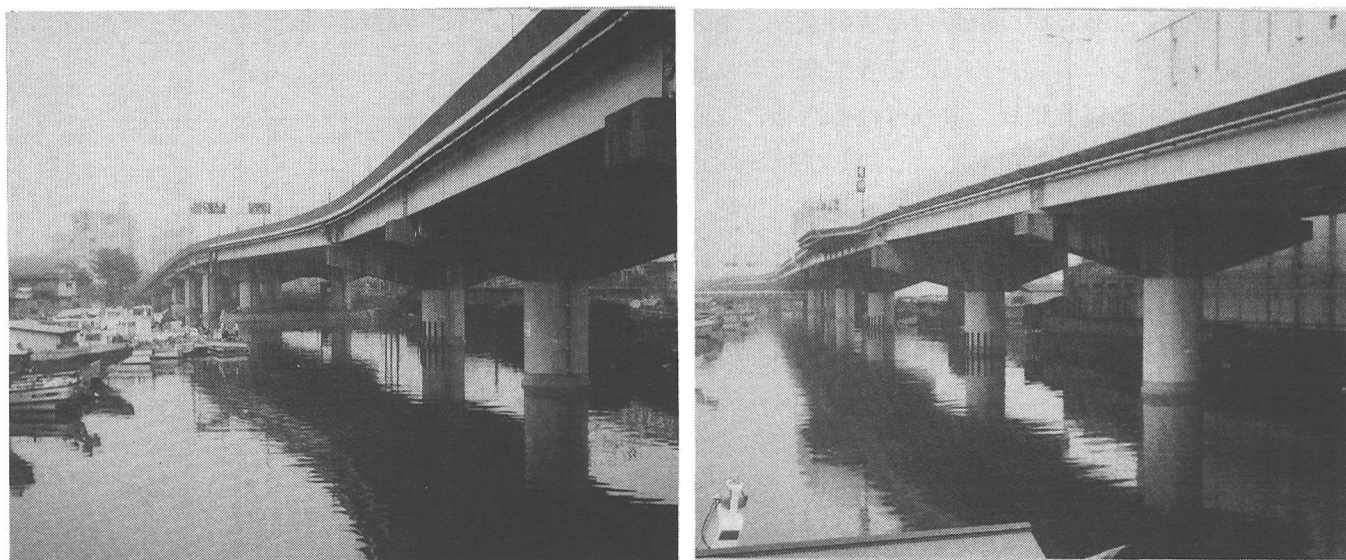


写真-1, 2 工事全景写真(完成後)

3. 圧入工法によるコルゲートパイプの設置

3. 1 作業足場台船圧入工法(水上施工)

(1) 浚渫工

作業足場台船等の作業船の吃水を確保するために、橋脚海側の面を法尻として河側をT・P-2.0 m まで浚渫し、法尻から海側の既設護岸に向かって、法面勾配 1 : 2 で浚渫した。

浚渫は、スパット式バックホウ台船(0.4m³級)にて、土運船(密閉式 60 m³積み)に浚渫土を積み込み、場内運搬後積み替え場所(大黒埠頭)にて大型土運船(側開式 200 m³積み)に積み替え所定の場所に海上処分した。

特に、コルゲートパイプ設置箇所付近は、圧入の障害になるコンクリート殻、鉄屑等が存在しないか十分調査し、障害物が確認された場合は、支障のない場所への移動、撤去処分等を行った。(図-5)

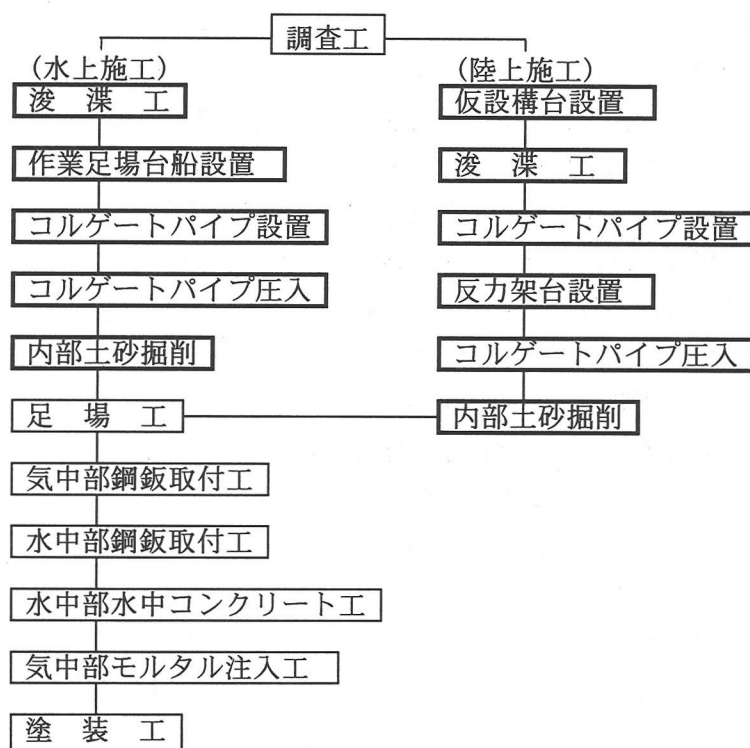
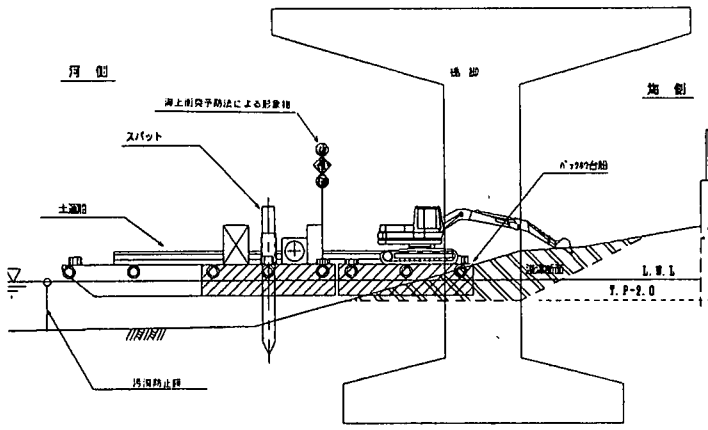
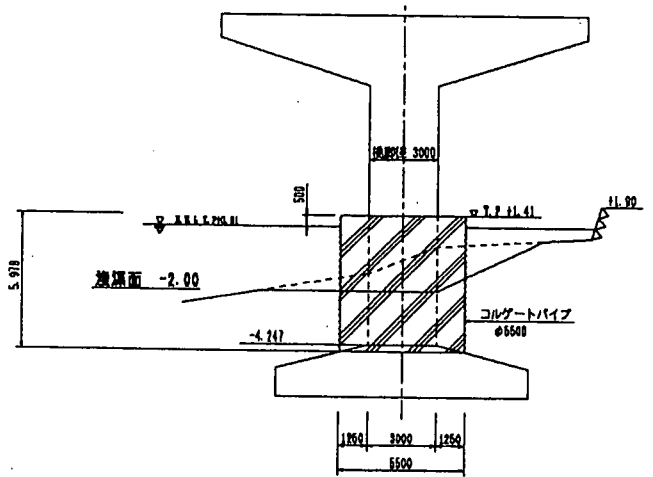


図-4 河川部施工フロー



図－５ 浚渫作業状況図



図－６ コルゲートパイプ設置標準断面図

(２) 作業足場台船設置

作業足場台船 (11.2m × 4.7m × 1.5m) は、橋脚の横浜側と川崎側に 1 隻ずつ計 2 隻設置した。台船設置時には橋脚周囲にコルゲートパイプ (φ 5,500mm) が設置できるように、台船と橋脚間に 1.5m 程度のスペースをとり、かつ高速道路投影線内に足場台船が収まる位置にスバットをおろし台船を固定した。台船の設置位置が決まったら、台船昇降装置で台船フロート部を上昇させ、台船が水平になり、またスバットの沈下が収まるまで調整を行った。(図－７)

(３) コルゲートパイプ圧入力の推定および部材検討

① 圧入力の推定

コルゲートパイプ圧入力を杭の静的支持力公式により算定した。「道路橋示方書・同解説 (日本道路協会)」により、

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot l \cdot f$$

ここに、 R_u : 地盤から決まる極限支持力＝圧入力

q_d : 単位面積当たりの極限支持力度

「港湾の施設の技術上の基準」より、

$$q_d = 8 \cdot C \text{ (t/m}^2\text{)} = 8 \times 1.25 \\ = 10.0 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

A : 先端の面積

先端のコルゲートパイプ厚 $t = 2.7\text{mm}$ とすると、

$$A = \pi \cdot \phi \cdot t = \pi \times 5.50 \times 0.0027 = 0.047 \text{ (m}^2\text{)}$$

U : 周長 $= \pi \cdot \phi = \pi \times 5.50 = 17.28 \text{ (m)}$

l : 周面摩擦力を考慮する層の層厚

波付展開長を考慮し、圧入深度を 3.0m とすると、 $l = 1.22 \times 3.0 = 3.66 \text{ (m)}$

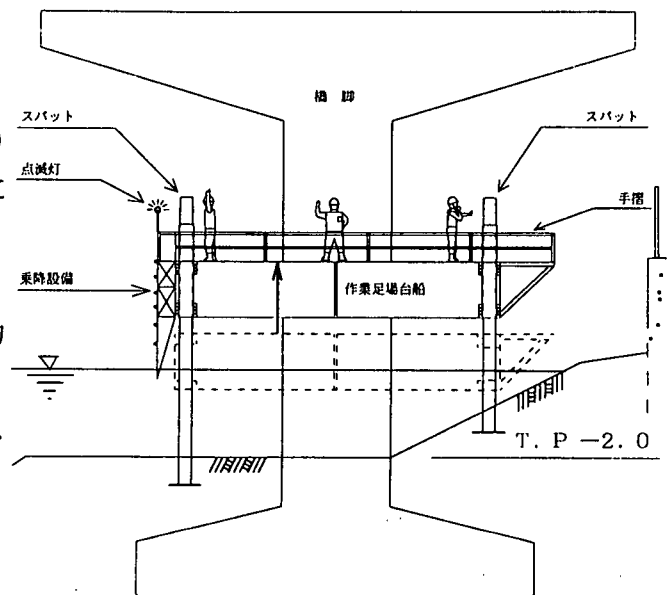
f : 最大周面摩擦力 $= C = 1.25 \text{ (t/m}^2\text{)}$

よって、圧入力 (P) を求めると、

$$R_u = 10.0 \times 0.047 + 17.28 \times 3.66 \times 1.25 = 79.5 \text{ (t)} = P$$

円周方向の単位m当たり圧入力は、

$$P_m = P / \pi \cdot \phi = 79.5 / \pi \times 5.50 = 4.601 \text{ (t/m)}$$



図－７ 作業足場台船設置状況

②補強材の断面検討

コルゲートパイプに作用する土圧により、座屈および曲げ圧縮応力度の検討を行い、コルゲートセクションの板厚C P 2 型 $t = 2.7\text{mm}$ を使用することに決定した。なお、圧入力はすべて補強材が負担するものとした。補強材の設置数は、コルゲートセクションの構成枚数と同数の8本とした。補強材1本当たりの圧縮力 P_L は、

$$P_L = P_m \cdot \lambda_L = 4.601 \times 2.358 = 10.85 (\text{t})$$

ここに、 P_L : 円周方向1m当たり圧入力 = 4.601 (t/m)

λ_L : 補強材の最大設置間隔 = 2.358 (m)

補強材に L-130 × 130 × 12 ($A_L = 29.76\text{cm}^2$) を用いると、圧縮応力度 (σ) は、

$$\begin{aligned} \sigma &= P_L / A_L = 10,850 / 29.76 \\ &= 364 (\text{kg/cm}^2) < \sigma_{ca} = 391 (\text{kg/cm}^2) \end{aligned}$$

補強材の天端には、トップリング (L-200 × 90) を設置した。(図-8)

(4) コルゲートパイプ設置

コルゲートパイプは、下段部、中段部、上段部の3層にて組み立てた。各段における組立は以下のとおりの手順にて施工した。(図-9)

①下段部組立

- ・作業足場台船上に受台(H-200)を設け、下段部コルゲートを組み立てる。
- ・コルゲート天端より300mm下がりの箇所にストップを取り付ける。
- ・ストップ取り付け完了後、ストップを受台天端の位置まで下げる。

②中段部組立

- ・下段部沈下後、中段部のコルゲート組立接続を行う。
- ・コルゲート天端より300mm下がりの箇所にストップを取り付ける。
- ・下段部ストップ撤去後、中段部ストップを受台天端の位置まで下げる。

③上段部組立

- ・中・下段部沈下後、上段部のコルゲート組立接続を行う。
- ・中段部コルゲートのストップを撤去し、コルゲートが海底地盤に自立して安定するまで下げる。

(5) コルゲートパイプ圧入

コルゲートパイプの圧入は、反力受け架台設置、巻き下げ装置の設置、圧入の順で施工した。(図-10)

①反力受け架台設置

沈下させたコルゲートパイプのトップリングの上に、H鋼リング

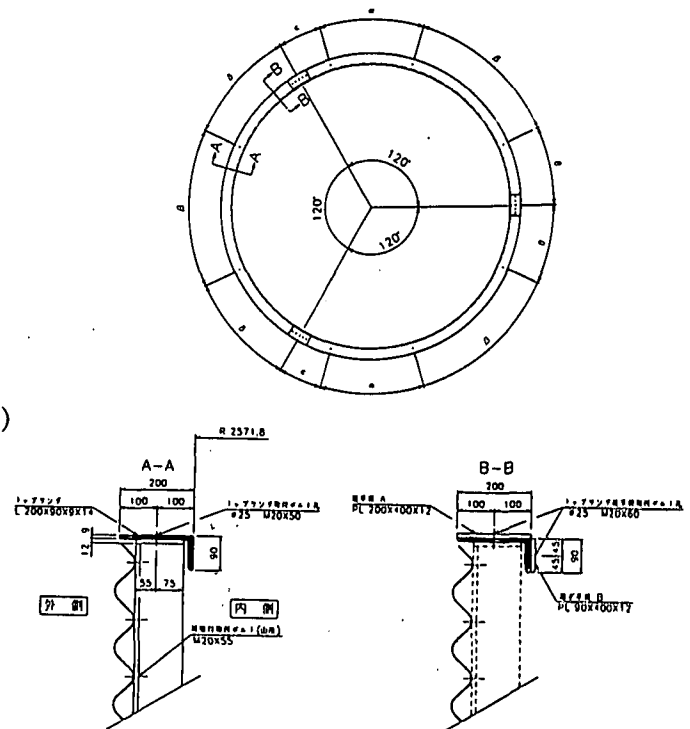


図-8 コルゲートパイプ補強図

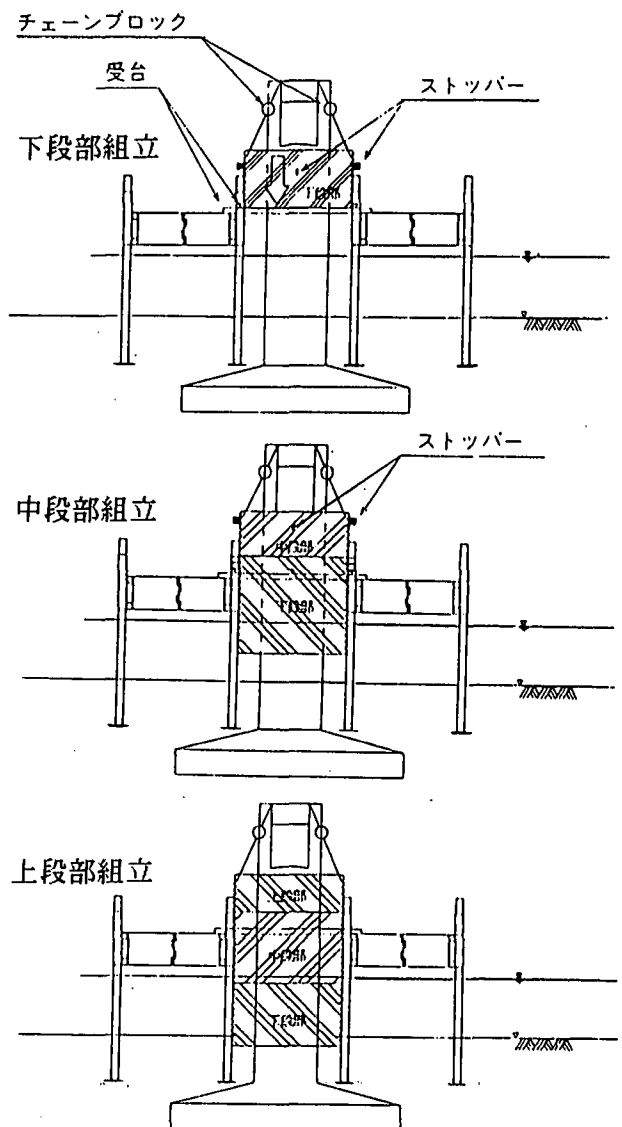


図-9 コルゲートパイプ組立手順

(H-200)を設置し、その上にH鋼(H-250)2本を橋脚を挟んで橋軸平行方向に固定する。H鋼リングと橋軸平行方向に設置したH鋼との固定点4箇所から垂直に柱(H-250)を建て込み反力用架台(H-400)を設置する。反力用架台には、金車を取り付けるための荷重ピースをH鋼1本につき2箇所の合計4箇所取り付ける。

②巻き下げ装置の設置

反力用架台H鋼の荷重ピース4箇所にそれぞれ金車(3車、車径300mm)をシャックルで取り付ける。作業足場台船上に設置した荷重ピースにも同様に金車を取り付ける。また、巻き込み用のチルホール(3t巻き)を台船1隻につき2台、別の荷重ピースに固定する。金車、チルホールの設置が完了したら、ワイヤー($\phi 16\text{mm}$)を仕込む。

③圧入

圧入する前に、作業足場台船の自重を増加させるために、フロート部内へ注水する。注水量は、台船1隻当たり20tとする。注水完了後、チルホールにてワイヤーを引き込み、圧入を開始する。引き込み中は、コルゲートパイプを絶えず水平に保持するために、各チルホールを調整しながら操作する。コルゲートパイプが橋脚のフーチング天端に到達するまで圧入する。

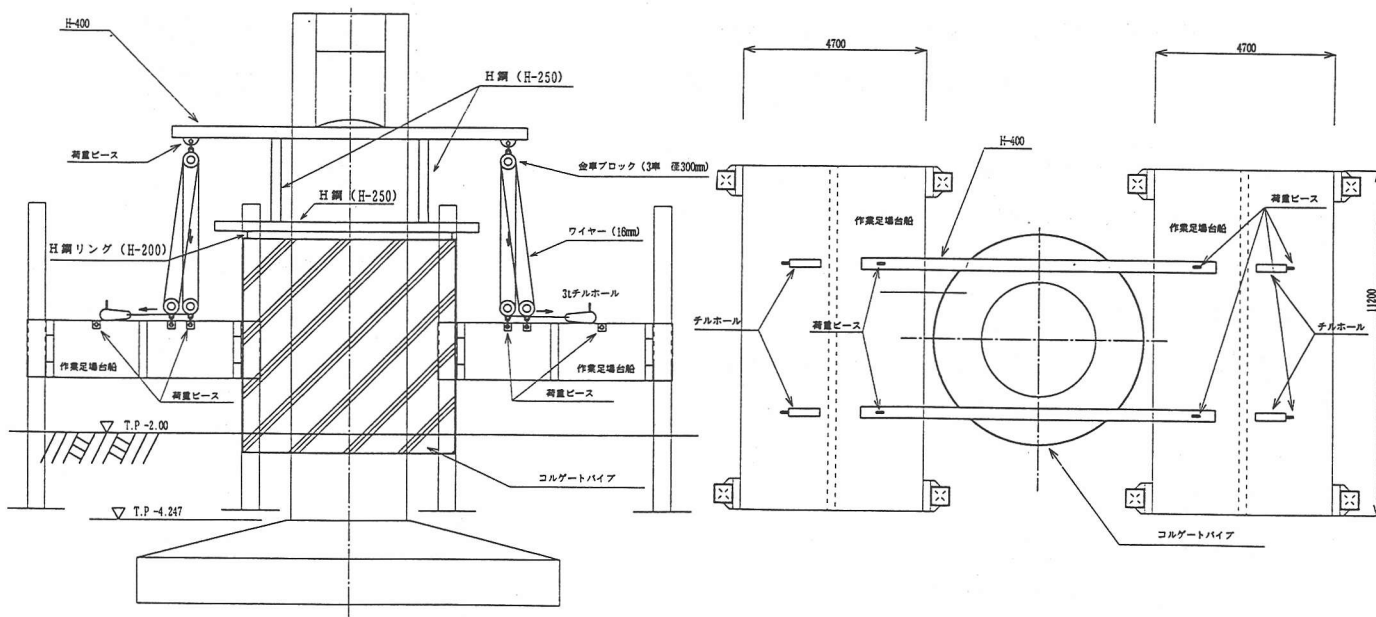
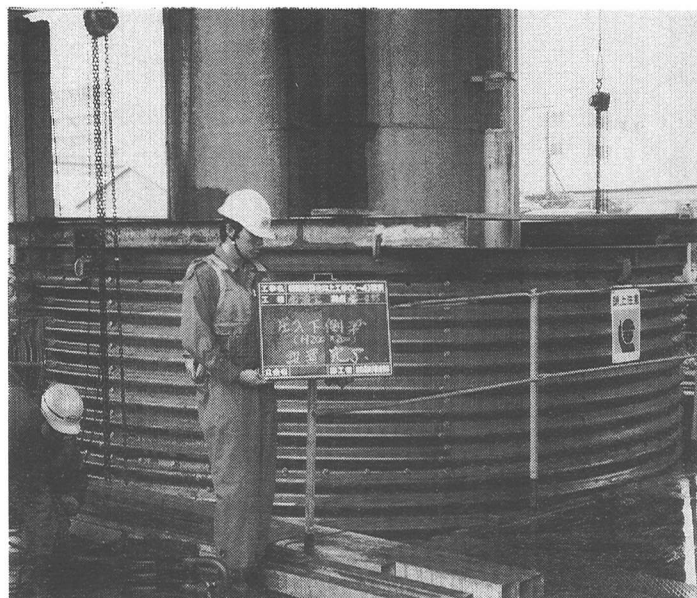
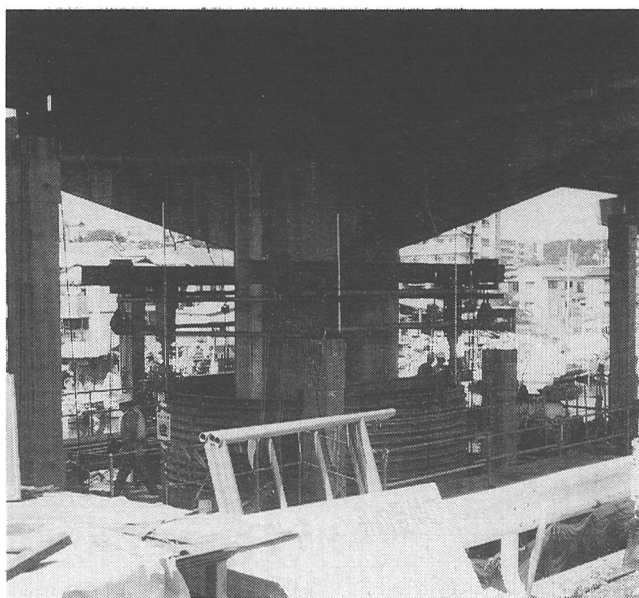


図-10 コルゲートパイプ圧入状況図



写-3 H鋼リング取付完了



写-4 コルゲートパイプ圧入状況

(6) コルゲートパイプ内部土砂掘削

コルゲートパイプ沈設完了後、クラムバックホー（バケット容量 0.12m^3 ）にて、コルゲート内部の土砂を、フーチング天端まで掘削した。掘削した土砂は、直接密閉式土運船（ 60m^3 ）に積み込み、場内運搬後積み替え場所にて大型の側開式土運船（ 200m^3 ）に積み替え、所定の場所に海上処分した。（図-11）

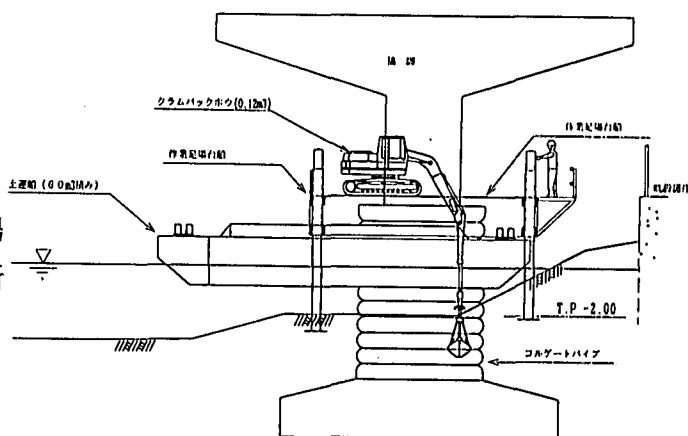


図-11 内部土砂掘削状況

3. 2 反力架台圧入工法（陸上施工）

コルゲートパイプ圧入箇所の水深が浅く、作業足場台船を使用できないために、橋脚本体張出部に直接反力架台を設置しコルゲートパイプを圧入した。

(1) 作業構台工、土工、吊り設備工

仮設の作業構台は、栈橋形式とし補強対象橋脚の周囲に設置した。作業構台設置後、構台上から橋脚の周囲をバックホー（ 0.7m^3 ）にてT.P.-2.0mまで掘削した。（図-12）

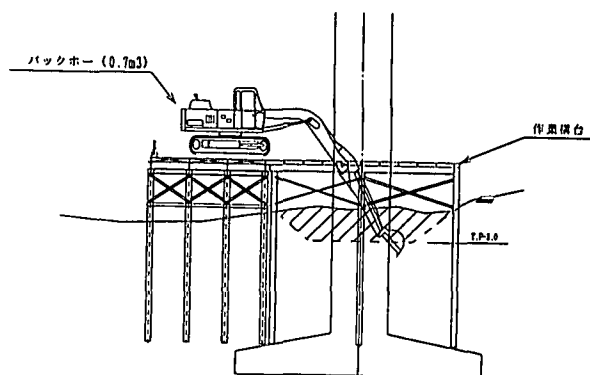


図-12 掘削状況

コルゲートパイプ用吊り設備は、橋脚張出部にワイヤー（ $\phi 16\text{mm}$ ）を4本を大回しに取り付け、その先端にチェンブロック（3t吊り用）を4台設置した。橋脚本体の損傷防止のためにゴム板等で養生した。

圧入用反力架台吊り設備は、橋梁張出部の橋軸直角面に4箇所の吊りピースプレートをコンクリート用アンカーにて取り付け、各ピースにチェンブロック（2t吊り用）を設置した。（図-13）

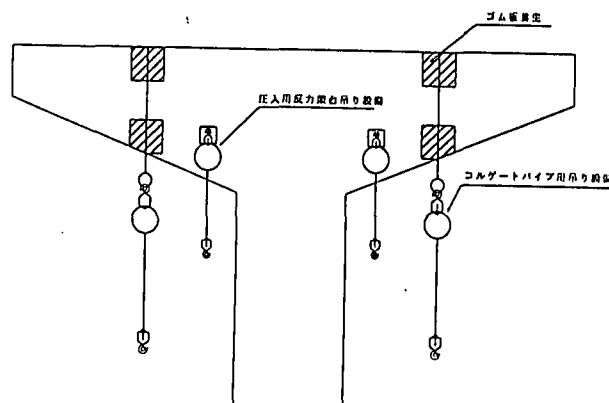


図-13 吊り設備

(2) コルゲートパイプ設置

コルゲートの建て込みは、構台上のミニクレーン（4.9t吊り）にて行った。下段部・中段部組立完了後、中段部の上端にストッパーを4箇所取り付け、コルゲートパイプ用吊り設備にて吊り上げ、ストッパーが作業構台に接するまで降ろした。次に、上段部組立完了後、ストッパーを上段部上端に取り付け、コルゲートパイプを吊り降ろした。（図-14）

(3) 圧入用反力架台設置

圧入用反力架台は、橋脚張出部の梁下より反力をとる構造とし、圧入は電動式油圧ジャッキにて行った。組立順序は以下の要領にて施工した。

組立順序は、はじめにコルゲートパイプ上に下部反力受け架台をミニクレーン（4.9t）にて橋脚を挟んで設置し、コルゲートパイプのトップリングに固定する。その上に上部反力受け架台を組み、架台吊り設備にて徐々に吊り上げ、油圧ジャッキ、間隔調整用キリンジャッキ、補助

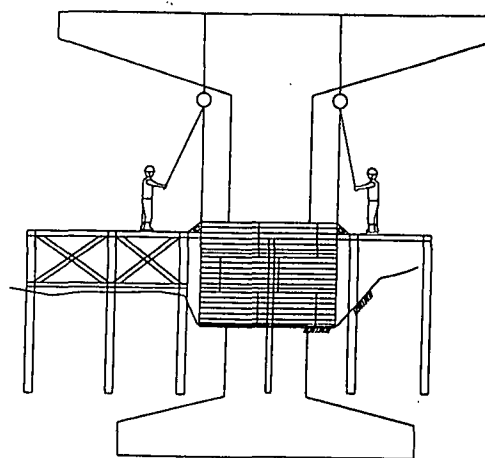


図-14 コルゲートパイプ設置

ピース等を取り付け、上部反力架台が橋脚梁下に達するまで吊り上げる。

架台吊り上げ後、コルゲートパイプのストッパーを撤去し、コルゲートパイプ用吊り設備にて地盤に定着するまで吊り降ろす。次に、コルゲートパイプ上の下部反力受け架台と上部反力受け架台を補助ピースおよびキリンジャッキで間隔を調整しボルトにて接続する。(図-15)

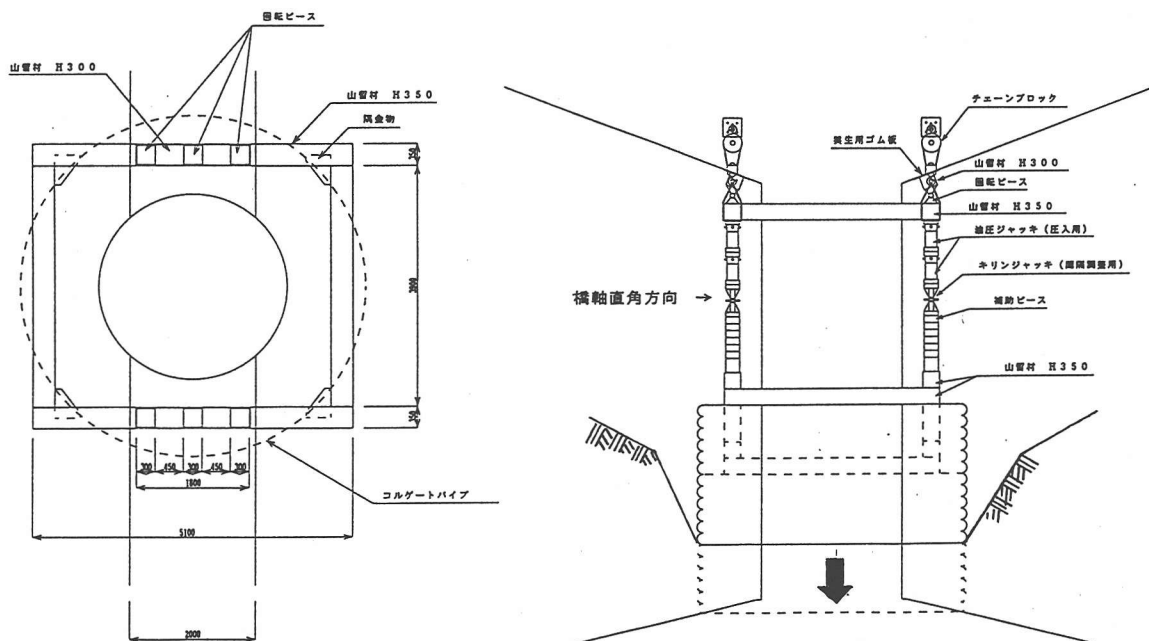


図-15 圧入用反力架台

(4) コルゲートパイプ圧入

反力架台設置完了後、油圧ジャッキにて圧入した。圧入は以下の要領にて施工した。

油圧ジャッキのストロークが伸びきったら架台柱部途中の補助ピースボルトを外し、油圧ジャッキを縮め補助ピースを挿入し油圧ジャッキにて再圧入する。この手順を繰り返し、コルゲートパイプがフーチング天端に達するまで圧入する。

(5) コルゲートパイプ内部土砂掘削

3. 1 (6) に同じ。

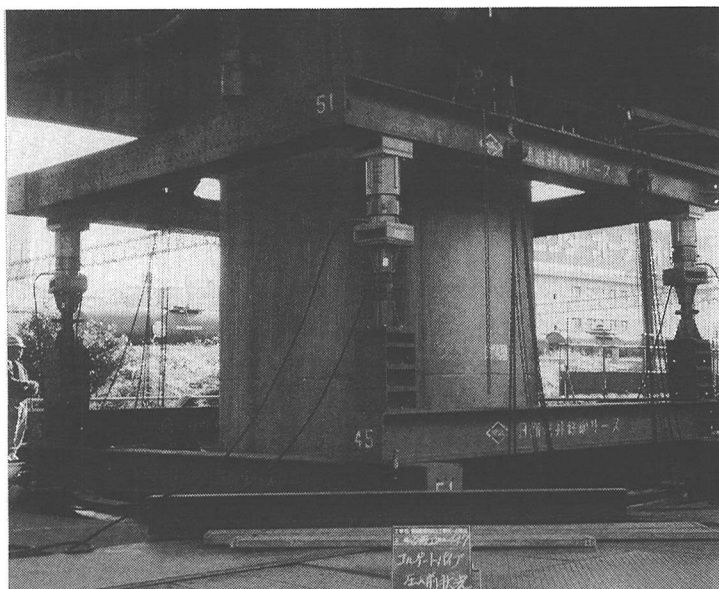
4. 施工上の課題

(1) 障害物の処理

コルゲートパイプ設置前に、T. P-2.0m までの障害物は浚渫することによって撤去し、それ以深については、浚渫完了後、探深棒にてT. P-3.0m まで障害物の存在の有無を確認した。障害物の存在が確認された場合は、バックホー台船または潜水土により圧入に支障のない場所へ移動、撤去、処分等を行った。

しかし、探深棒にて確認できなかったT. P-3.0m 以深の土中にもコンクリートガラ等の障害物が存在し、圧入作業が非常に困難になる橋脚があった。その場合は、コルゲートパイプ内部を掘削し、障害物の形状等を潜水土により確認し、特に、小片(50cm 以下)のコンクリートガラについては、水中ブレイカーを使用して潜水土により小割にして除去した。ただし、大きさが50cm 以上で100cm 近いコンクリートガラは、潜水土による小割が不可能なため、コルゲートパイプを残りの圧入長分だけ切断して圧入した。

また、事前に想定した地盤強度より堅い場合(N値 10 ~ 15)にも同じように圧入作業が困難になる橋脚



写-5 コルゲートパイプ圧入

があった。この場合には、ジェットポンプにより地盤を緩めながら圧入した。

したがって、河川内の堆積土砂の中にコルゲートパイプを圧入する場合には、事前に圧入箇所をフーチング天端まで入念に探査し、障害物の形状、存在位置、地盤強度等を確実に把握する必要がある。また、障害物、特に、深い位置にある障害物の撤去方法、内部土砂掘削を先行しながら圧入する方法等についても事前に十分検討する必要がある。

(2) コルゲートパイプ圧入力

コルゲートパイプ圧入力の値は、「道路橋示方書・同解説」と「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の基準を参考に推定した。推定した圧入力の妥当性の確認をするために、ある橋脚を対象に試験工事を実施し、推定した圧入力により、コルゲートパイプの圧入が可能であることを事前に確認し、本施工に移った。本施工においても、障害物が存在せず、想定した地盤強度以下の地盤での圧入作業は比較的順調であった。

したがって、圧入力の値を各種の基準により推定することは当然必要であるが、事前に、試験工事により必要圧入力の値を確認することが重要である。

(3) コルゲートパイプと反力架台の構造

同一施工箇所においても、地盤条件の違いにより、圧入速度が異なるため、コルゲートパイプがバランスよく沈下せず、不等沈下が発生し、圧入するのが非常に困難な橋脚があった。このため、コルゲートパイプを水平に戻そうとして、局部的に計算以上の圧入力が作用し、コルゲートパイプ、天端トップリング、H鋼リング（H-200）等が変形する場合があった。

したがって、地盤条件（強度等）の違いがあっても圧入できるような構造と工法に改良する必要がある。今回の工法は、圧入力の作用点を4箇所にして圧入したために、圧入力がその作用点付近に集中して各部材が変形したと思われるケースもあり、圧入力をバランスよく作用させるために、作用点の数を増やす必要がある。また、不測の事態を想定して、トップリング、H鋼リングの部材断面性能のアップ、補強材（L-130）の設置数の増加等についても検討する必要がある。さらに、補助工法（ウォータージェット工法）との併用工法、振動工法（パイプロハンマー）等についても比較検討する必要がある。

5. おわりに

現在、各地で鋼鈑巻き立て工法を標準工法として、耐震性向上工事が実施されている。当工事においても、RC橋脚の耐震補強は、補強鋼鈑の取付位置によって、気中部と水中部施工に区分けされるが、鋼鈑巻き立て工法にて施工した。

本報告書は、河川部分における既設河川護岸の崩壊を防止するための山留工（コルゲートパイプ）の施工方法（圧入工法）を中心に、施工事例について報告した。コルゲートパイプを地中に圧入することは、施工実績もなく特殊な工法であり、施工上、障害物の処理、コルゲートパイプの圧入力の算定、反力架台の構造等様々な問題が存在する。今後、更なる改良を加えより信頼性の高い工法にする必要がある。本稿が同種条件下の耐震補強工事の参考になれば幸いです。