

頭首工堰柱におけるプレキャスト部材の接合方法に関する解析的検討

大成建設（株）	正会員	○細谷	学
大成建設（株）	正会員	大島	邦裕
大成建設（株）	正会員	菊地	延斗

1. 検討の背景と目的

一級河川岩木川の河口から約 11km の地点に位置する芦野頭首工（青森県）は、築造後 50 年以上が経過しており、老朽化に対する更新工事が行われた。非出水期に更新工事を完了するために工程短縮が求められ、堰柱をプレキャスト（以下、PCa）構造とした。これまで、頭首工の堰柱を PCa 構造とした事例はなく、本工事では鉄筋コンクリート橋脚で実績のあるプレキャスト PRC 中空橋脚¹⁾を参考にした。PCa 部材を積み上げる際、PCa 部材どうしは、接合面にエポキシ系接着剤を塗布した後、 $0.3 \sim 1.0 \text{ N/mm}^2$ 程度のプレストレスを与えることで余分な接着剤を排出して微小な不陸を埋めて接合するのが一般的である。しかしながら、本堰柱は一般的な鉄筋コンクリート橋脚に比べて大型で細長く、また PCa 部材単体が U 字型の開断面であることにより、接合面の精度の確保が難しく、乾燥収縮などによる変形の可能性があることから、PCa 部材どうしの隙間が、一般的な PCa 構造に比べて大きくなることが予想された。この状態で接合面に接着剤を塗布してプレストレスを与えると、接着剤の層が厚いた

めに、PCa 部材の曲げ変形により PCa 部材の上縁側にクラックが発生することが懸念された。そこで、このような曲げ変形の状況を FEM 解析により把握し、クラックを生じさせない対策を検討することとした。

2. 堰柱のプレキャスト構造

本工事で採用する工法¹⁾は、基礎工などで実績のある PC ウェル工法を応用した工法で、PC 鋼棒で約 0.5N/mm^2 の面圧を与えながら PCa 部材を組み立て、組立て後に連続鉄筋を挿入して橋脚を構築する工法で、中空断面橋脚を前提としている。しかしながら、本堰柱は充実断面構造であるため、構造部材としての PCa 部材を構築した後、内部にコンクリートを打設して一体化する構造とした。図-1、2 のように、堰柱は、水流方向に $13,500\text{mm}$ 、水流直角方向に $2,400\text{mm}$ であり、PCa 部材単体は、吊上げや運搬を考慮して水流方向に 2 分割した U 字型とし、高さは $1,408\text{mm}$ である。U 字の直線部分は、長さ $4,000\sim 5,000\text{mm}$ 、幅 $300\sim 900\text{mm}$ の細長い形状である。

3. FEM 解析による検討

3.1 一般的な接合方法での曲げ変形の把握

PCa 部材の天端に接着剤を塗布して、その上に PCa 部材を設置した後、PC 鋼棒でプレストレスを与えるという一般的な接合方法での状況を把握した。解析は、上流側の B ブロックを対象とした (図-2)。PCa 部材単体 (高さ 1,408mm) をソリッド要素でモデル化し、下端の 1 層は層厚 4mm とした。この層の U 字型の直線部の 4,000mm 区間 (図-3) を接着剤の物性とするこゝで、PCa 部材どうしの隙間 (4mm と想定) に接着剤が充填され

キーワード 頭首工堰柱, プレキャスト, 接合部, 充填材, FEM 解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル TEL 03-5381-5297 FAX 03-5326-0179

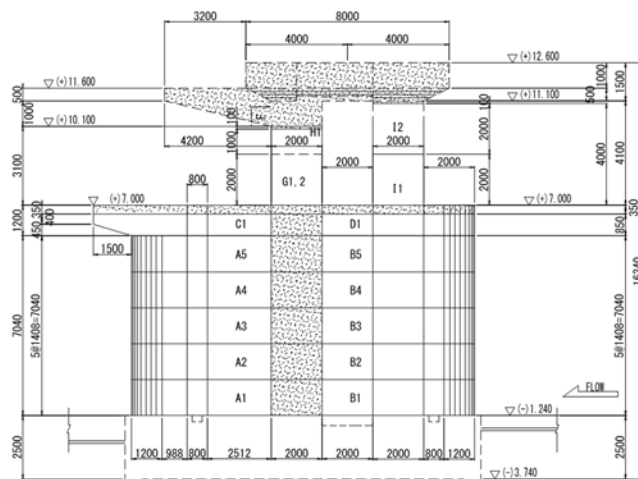


図-1 堰柱の構造図（側面図）

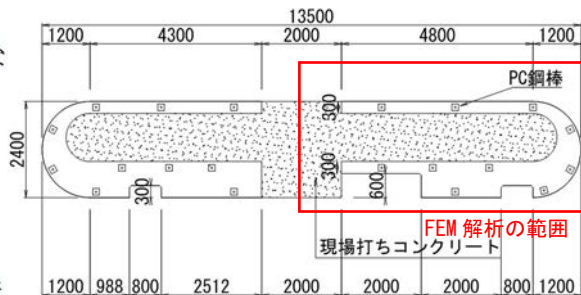


図-2 堰柱 PCa 部材の断面図

ている状況を再現した。連続鉄筋用のシースは $\square 70\text{mm} \times 70\text{mm}$ でモデル化したが、PC鋼棒の孔および支圧板はモデル化していない。下端の支持条件は、接着剤部分も含めてすべて完全固定とした。荷重はコンクリート自重とPC鋼棒の緊張力とし、1回目の緊張箇所

(青矢印の4箇所)に 100kN/本 のプレストレスを導入した。コンクリートの弾性係数は $33,000\text{N/mm}^2$ (設計基準強度 50N/mm^2)、ポアソン比は 0.167 とした。緊張時の接着剤の物性は不明のため、弾性係数は 0.33N/mm^2 (コンクリートの $1/100,000$)、ポアソン比は 0.167 (コンクリートと同じ)と仮定した。

FEM解析の結果、図-3のように、U字型の直線部は片持ち梁のように挙動し、上縁側に約 2.7N/mm^2 の引張応力が発生することがわかった(赤丸部分)。実際にはPC鋼棒1本に 600kN を導入するため、約 16N/mm^2 の引張応力となり、クラックが生じると予想された。

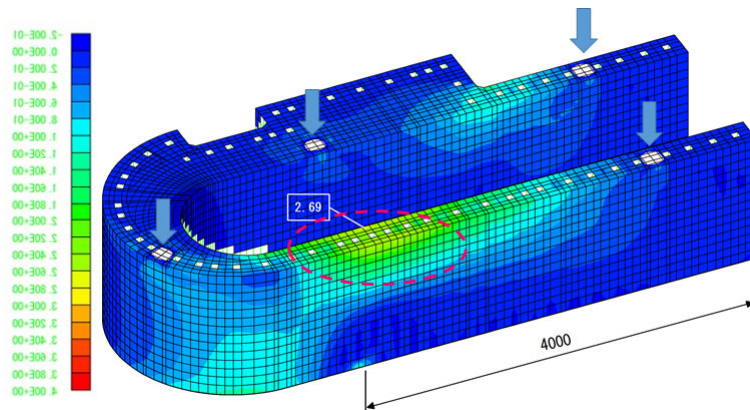


図-3 FEM解析結果 (接着剤の剛性： 0.33N/mm^2)

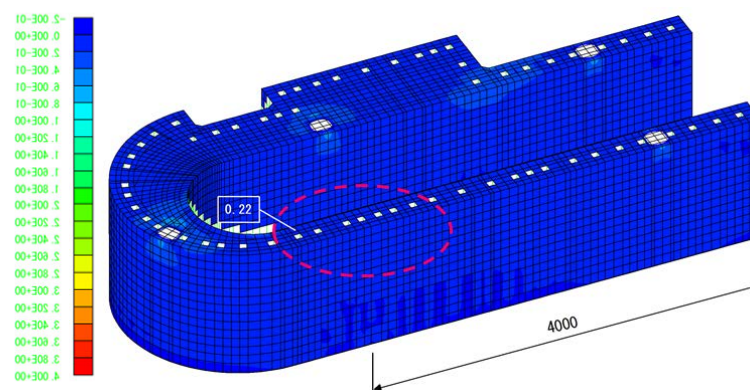


図-4 FEM解析結果 (接着剤の剛性： 33N/mm^2)

3.2 クラックを防止する接合方法の検討

上記の解析モデルに対して、接着剤の弾性係数のみを 33N/mm^2 (コンクリートの $1/1000$)に変更した場合(図-4)、赤丸部分には約 0.2N/mm^2 の引張応力しか生じず、PC鋼棒に 600kN/本 を導入しても引張応力度は約 1.2N/mm^2 となる。よって緊張時の接着剤の弾性係数が適度に大きいと、クラックが抑制されることがわかった。

この他、①接着剤の層厚を小さくする、②U字型の開断面を壁で接続して閉断面とする、などの検討を行ったが、①はPCa部材の製作精度の向上や乾燥収縮などの変形抑制が実際は難しいこと、②はPCa単体の重量が増加して施工計画に影響することから、緊張時の接着剤の弾性係数を大きくする方法を検討することとした。

3.3 緊張時の接着剤の弾性係数を大きくする検討

緊張時に適度な弾性係数を有する接着剤が見つからないため、接着剤が硬化して弾性係数が発現した後にプレストレスを与えることとした。自重だけでは約 0.03N/mm^2 の面圧しかなく、接着剤を十分に排出するのは難しいため、硬化後にプレストレスを与えても接合部には多くの接着剤が残留することが予想される。そこで、接着剤ではなく充填材という発想で、耐久性を考慮してエポキシ系樹脂ではなく無機系の無収縮モルタル系の材料を採用することとした。また、充填材の塗布にあたっては、材料の練り混ぜの容易さ、可使時間、適度な流動性と粘性が必要であり、青森県での冬季作業という低温環境下でも所要のフレッシュ性状を有するとともに、硬化時間が工程に支障をきたさない材料を選定する必要がある。そこで、小間隙用の無収縮モルタルを選定し、ここで検討した接合方法が実現可能かどうかを実験により検証した²⁾。

4. まとめ

1. 本工法で、PCa部材どうしの接合面に 4mm 程度の隙間がある場合、接着剤塗布後にプレストレスを与えると、PCa部材が片持ち梁のように挙動し、上縁側にクラックが発生する可能性があることをFEM解析で確認した。
2. 緊張時に接着剤の弾性係数が適度に大きいと、クラックの発生が抑制されることをFEM解析で確認した。

参考文献：1)プレキャストPRC中空橋脚カタログ：プレキャスト橋脚技術研究会 2004.12

2)頭首工堰柱におけるプレキャスト部材の接合部に関する実験検討，令和5年度全国大会，第78回年次学術講演会，V部門，投稿中。