

沢道跨道橋の設計について

日本道路公団 いわき工事事務所 渡辺 二夫
 日本道路公団 いわき工事事務所 茂木 俊一
 (株) 富士ピー・エス 水田 英生
 (株) 富士ピー・エス 正会員 ○川上 毅

1. 概要

1) 概要

沢道跨道橋 (PC上部工) 工事は、常磐自動車道に位置する斜材付き変形π形ラーメン橋である。基本設計において中空床版橋として計画されていたが、詳細設計ではプレグラウト鋼材を用いた多主版桁橋として設計・施工を行うこととなった。主桁形状変更の際に発生した問題点とその対処法について記す。

2) 本橋の特徴

- ・ 橋 長 : 77.585m(15.9+44.5+15.9m)
- ・ 有効幅員 : 11.000m
- ・ 構造形式 : 中空床版橋→3主版桁橋
- ・ 桁高スパン比 : 1/16~1/19
- ・ 主ケーブル : 1S28.6 プレグラウト鋼材使用
- ・ 下部構造施工済のため自重が基本設計を越えない

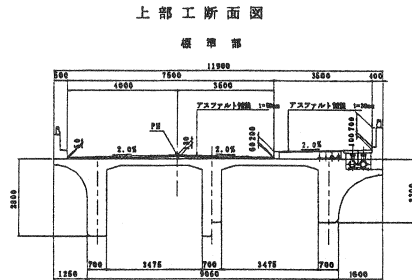


図-1. 上部工断面図

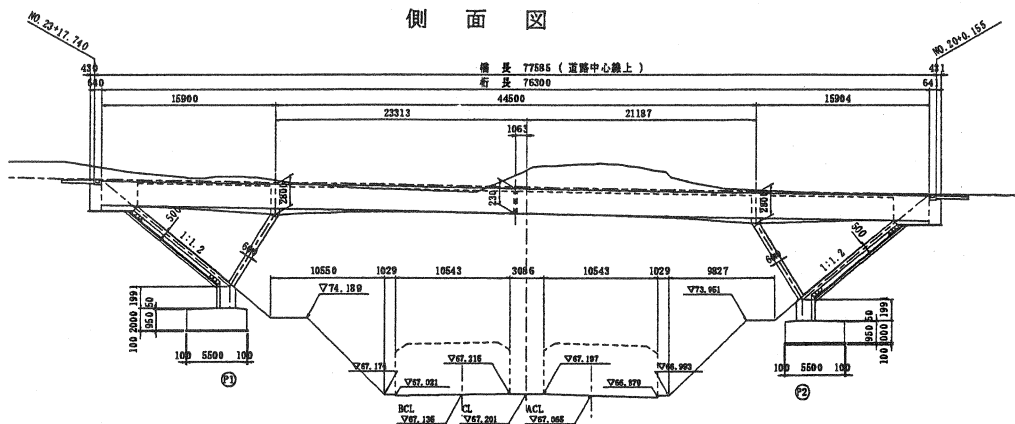
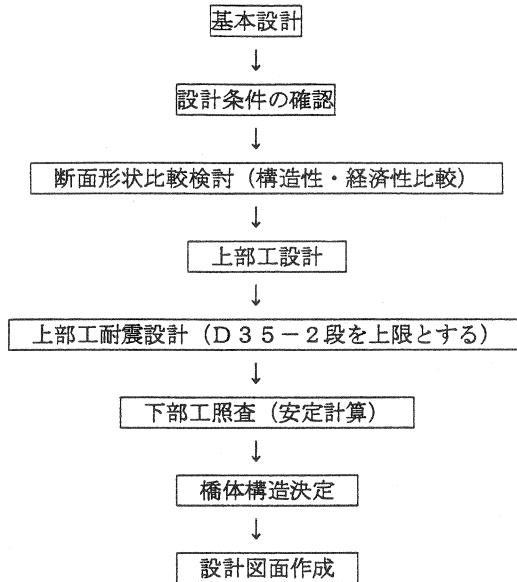


図-2. 側面図

2. 設計フロー



3. 形状検討

形状の検討は以下の条件に基づき各項目に分け構造的、経済性の比較検討をおこなった。

- ① 主桁反力 (死荷重時) が基本設計の値を上回らないようにする。
- ② 死荷重+活荷重時に発生する引張応力は、コンクリートの許容引張応力 2.5 N/mm^2 程度を目安とする。
- ③ 景観を考慮し主桁にサークルハンチをつけ、自重を見込む。

1) 桁高スパン比

施工実績に基づいて構造として有利な桁高スパン比を算定

1/15~1/19、1/16~1/19、1/17~1/20 の3種類について比較

→ 1/16~1/19 が経済的

2) ウェブ本数

2主版桁、3主版桁、4主版桁 の3種類について比較

→ 3主版桁が経済的

3) 主桁反力

基本設計：33861 kN 詳細設計：30382 kN

4) ウェブ幅

3主版桁橋にて700mm、800mmで比較

常時鋼材必要本数 700mm：60本 (1ウェブあたり20本)

800mm：63本 (1ウェブあたり21本)

ウェブ幅を増すにしたがい、コンクリート量およびPC鋼材が増加するのみのみで構造上の利点はない。

→ 700mm が経済的

以上の検討項目にしたがって沢道跨道橋の主桁形状は、桁高スパン比 1/16~1/19、ウェブ幅 700mm の3主版桁橋と決定した。

4. 耐震設計

主桁形状を決定した上で、地震時保有水平耐力法による耐震設計をおこなった。

以下に設計の手順を示す。

- ① 下部工をM-θ関係にて解析：荷重、上部工剛性、下部工は3主版桁橋の条件
- ② 下部工をM-φ関係にて解析
- ③ 上部工をM-φ関係にて解析、照査

上部工の耐震補強鉄筋はD35-2段配置を上限とした。

耐震補強鉄筋のD35・18本-2段配置（1ウェブあたりD35・6本-2段配置）による応答値と初降伏モーメントを比較したものを表-1に示す。

表-1 鉄筋のみによる耐震補強

| タイプII地震 (→) | 応答値 (kN・m) | 初降伏モーメント (kN・m) |
|--------------|------------|-----------------|
| 中間支点：下縁モーメント | 55503.0 | 35196.4 |

通常に鉄筋のみでの補強では応答値が初降伏モーメントを越えてしまう結果となる。

基本設計の中空床版橋ではD32・43本-2段配置となっていたものが、3主版桁橋へと断面形状を変更したことによりD35・18本-2段配置が限界となった。鉄筋の断面積を比較すると、

$$D32 : 86本 \rightarrow 7.942\text{cm}^2 \times 86本 = 683.0\text{cm}^2$$

$$D35 : 36本 \rightarrow 9.566\text{cm}^2 \times 36本 = 344.4\text{cm}^2 \quad \text{となり、}$$

およそ半分の鉄筋量しか配置できないので補強鋼材不足であると考えられる。

この問題の対処として、以下の方法について検討した。

- ① ウェブ幅を100mm増して1段に配置する鉄筋本数を21本とする。
- ② 高強度鉄筋SD390を使用する。
- ③ サークルハンチを削除し自重軽減をはかる。
- ④ 鉄筋を配置した上で、さらにPC鋼材を配置・緊張して軸力を導入する。

以上の検討結果一覧表を表-2に示す。

表-2 検討結果一覧表

| | 検討項目 | 検討結果 | 判定 |
|------------|---------------|-------------------------------------|----|
| ウェブ幅 700mm | SD345 D35-18本 | 支点上応答値 55503.0 kN > 初降伏 35196.4 kN | NG |
| | SD390 D35-18本 | 支点上応答値 55503.0 kN > 初降伏 39228.9 kN | NG |
| | 自重軽減 | 上部工が橋脚終局前に初降伏をむかえてしまう | NG |
| | SD345+PC鋼材配置 | 支点付近応答値 56099.2 kN > 初降伏 53450.4 kN | NG |
| | SD390+PC鋼材配置 | 支点付近応答値 56099.2 kN < 初降伏 57630.0 kN | OK |
| ウェブ幅 800mm | SD345 D35-21本 | 支点上応答値 58171.1 kN > 初降伏 39871.3 kN | NG |
| | SD390 D35-21本 | 支点上応答値 58171.1 kN > 初降伏 44536.9 kN | NG |
| | 自重軽減 | 上部工が橋脚終局前に初降伏をむかえてしまう | NG |
| | SD345+PC鋼材配置 | 支点付近応答値 58796.0 kN > 初降伏 56019.9 kN | NG |
| | SD390+PC鋼材配置 | 支点付近応答値 58796.0 kN < 初降伏 60400.4 kN | OK |

ウェブ幅 700mm、800mm いずれも SD 390 鉄筋を使用し PC 鋼材を配置する場合は許容値におさまる。この 2 ケースについて経済比較を行い、より経済的なものを採用した。

表-3 PC鋼材本数比較

| | 主桁幅 700mm | 主桁幅 800mm |
|------|-----------|-----------|
| 常時 | 60本 (20本) | 63本 (21本) |
| 耐震補強 | 15本 (5本) | 15本 (5本) |
| 合計 | 75本 (25本) | 78本 (26本) |

() 内は 1 ウェブあたりに必要な本数

表-3 は PC 鋼材の必要本数を算出したものである。1 ウェブあたりに配置する本数はウェブ幅に関係なく 15 本 (1 ウェブあたり 5 本) 必要であり、常時鋼材とあわせるとウェブ幅 800mm は 700mm に比べ本数を多く必要とすることがわかる。

これはウェブ幅・鉄筋増として PC 鋼材導入としたケースでも、本数を減少させる効果はないことを示している。

以上の検討により経済性・上部工反力からみてウェブ幅を 700mm とし耐震補強には SD390 鉄筋を配置、さらに PC 鋼材を配置する方法を採用した。図-3、図-4 に鋼材配置図を示す。

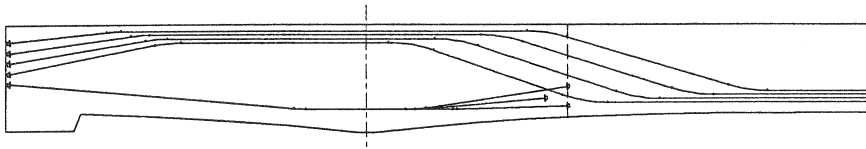


図-3. 鋼材配置 側面図

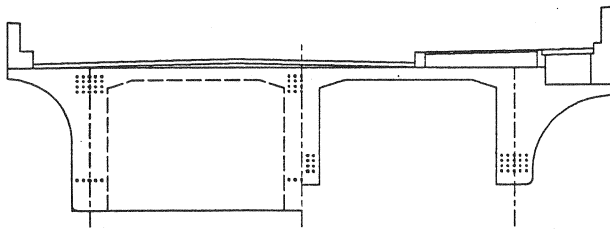


図-4. 鋼材配置 断面図

5. 下部工照査

上部工の形状が決まったことから、この上部工断面力を用いて下部構造の安定計算の照査をおこなった。照査をおこなった結果、詳細設計の主桁形状においては橋脚に谷向きの力が作用するために、地盤反力が許容値を満足しないという結果が示された。

上部工の荷重は図-5に示すように、基本設計と詳細設計では荷重バランスが変化しており、本設計では側径間の荷重が大きくなるという傾向が示されている。これにより斜材を通して橋脚を谷側へ押す形となる。

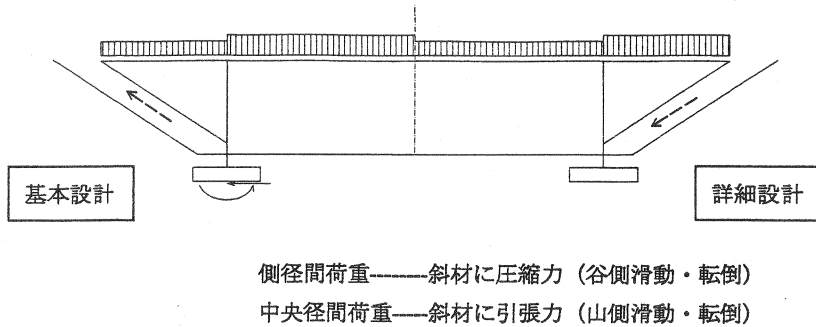


図-5 荷重バランス

また、耐震補強PC鋼材を配置することで、プレストレス弾性分およびプレストレスクリープ分が増大し橋脚下端に谷向きへモーメントが作用することで下部構造が谷側転倒の形となっている。

下部構造の形状は変更できないことから、上部工施工方法によってプレストレスの2次力を減少させ、対処することとした。表-4にモーメント低減の検討結果一覧表を示す。

表-4 橋脚下端曲げモーメント低減 検討結果一覧表

単位: kN・m

| プレストレス | 弾性分 | | クリープ分 | 合計 | 安定計算 | 側面形状 | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|
| | 連続 | 耐震 | | | | | 合計 |
| 基本設計 | -1680 | — | -1680 | -1510 | -3190 | OK | |
| 耐震補強鋼材無 | -2590 | — | -2590 | -361 | -2951 | OK | |
| 耐震補強鋼材下縁連続配置 | -2590 | -2910 | -5500 | -232 | -5732 | NG | |
| 耐震補強鋼材ネットアンカー | -2590 | -2619 | -5209 | 126 | -5083 | NG | |
| 耐震補強鋼材+2段階施工 | -2590 | -896 | -3486 | 126 | -3360 | OK | |

(ここでのモーメントの向きは左回りを正とする)

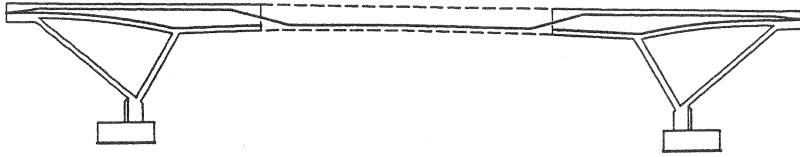
耐震補強鋼材を分割してデッドアンカーで定着する方法はプレストレス2次力減少に対して効果がほとんどない。上部工を分割施工することによって耐震鋼材の影響が減少することから、耐震鋼材配置部分を一次施工、中央径間部分を二次施工とする分割施工とした。図-6に施工ステップを示す。

① 一次施工：耐震鋼材配置部分施工

耐震補強鋼材を配置した区間について施工を行う。

互いの橋脚に影響を与えないよう中央径間の鉄筋結束は行わない。

中央径間打設前に耐震鋼材を緊張する。



② 二次施工：中央径間施工

耐震鋼材緊張後、直ちに中央径間を組立・打設し、連続ケーブルを緊張する。

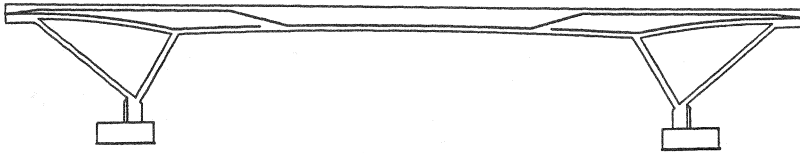


図-6 施工ステップ

また、構造解析の考え方は以下の通りとした。

- ・ 一次施工終了後耐震鋼材を緊張することからプレストレス弾性分のみ一次施工のモデルを作成し解析。
- ・ 連続鋼材のプレストレス弾性分は二次施工終了後（橋体工終了後）のモデルにて解析。
- ・ 自重およびプレストレスのクリープ分は、二次施工終了後に影響を受けることから二次施工終了後のモデルにて解析。
- ・ 一次施工と二次施工のコンクリートの打設間隔は1週間程度であることからクリープの進行は同時とした。

6. 終わりに

以上、斜材付 π 形ラーメン橋に多主版桁形式を用いた場合荷重バランスが中空床版橋とは異なること・耐震補強鉄筋の配置できるスペースが少ないということが示され、また構造形式変更に対する耐震補強の対処法について示した。

最後に本橋の設計にあたり多大なるご指導、ご尽力いただきました皆様方に心より御礼申し上げます。