

PC合成床版工法のPC連続合成桁橋への適用——高崎橋——

その1：模型実験と設計

江本 幸雄*1・古賀 文俊*2・吉岡 博幸*3・堤 忠彦*4

1. はじめに

従来の現場打ち施工による鉄筋コンクリート床版は、近年の交通量の増加や車両の大型化に伴い、ひびわれによる損傷等その耐久性に関する問題が報告されている。また、その品質が現場環境や労務者の熟練度に左右されるなど種々の問題点が提起されていた。これらの問題に対し、長期の耐久性を有する床版の開発に向け、材料面および構造面から様々な試験や研究が行われ施工されてきた。

PC合成床版工法は、そのRC床版の構造面の改善を目的として開発されたものであり、床版のひびわれに対する耐力および終局耐力の向上を図り、さらにプレキャスト部材を用いることにより、型枠作業を大幅に軽減し、施工の単純化、省力化、迅速化を可能にする等の多くのメリットを有している。

日本道路公団では、近年特にその傾向が顕著となっている建設工事現場の労働力不足への対応、およびコンクリート床版の耐力の向上を図る目的で、本橋においてPC合成床版工法を採用した。本文では、PC合成床版工法をPC連続合成桁に適用するにあたっての種々の問題点を解明するために実施した模型実験と、実験結果を反映するかたちで行った設計について報告するものである。

2. 工事概要

路線名：九州横断自動車道 長崎～大分線
 工事名：大分自動車道机張原橋他1橋(PC上部工)工事 (橋名：高崎橋)
 工事場所：大分県大分市机張原^{きちょうばら}
 橋種：プレレストコンクリート道路橋
 橋格：第1種3級A規格(1等橋 TL-20, TT-43)

橋梁形式：PC3径間連続合成桁

橋長・支間割：311.4 m 3×(34.15+34.60+34.15)

有効幅員：2×9.0 m

平面線形：R=1300 m

勾配：縦断4%，横断2%

3. 試験概要

PC合成床版工法は、工場製作されたプレキャストPC板を主桁の上に架け渡し、現場打ちコンクリートを打設することにより合成断面として荷重に対して抵抗する構造である。本工法は、これまで土木学会や大学等の試験、研究により高い信頼が得られることが報告されており、PC単純合成桁橋、PC連結合成桁橋、鋼鈹桁橋などの床版に採用されてきた。しかし、本工法をPC連続合成桁橋に適用するにあたっては、いくつかの技術的課題が考えられる。

PC連続合成桁は、中間支点上の床版内に橋軸方向にPC鋼材を配置し、これを緊張することにより連続構造とするものである。そこで、PC連続合成桁構造におけるPC合成床版の挙動を解明し、安全性を再確認するため、プレストレス導入の伴う一次床版の一部を模したモデル供試体を製作し、静的載荷試験および動的載荷試験を実施した。

試験は、以下の項目を確認することを目的とした。また、PC連続合成桁の一次床版区間にPC合成床版を使用した場合の構造を図-1に示す。

- 1) 床版の橋軸方向に一次床版プレストレスを導入することによるPC板と現場打ちコンクリートとの水平打ち継面での付着性状。
- 2) プレストレス導入に伴い、定着具周辺に生じる応力度分布。
- 3) 一次床版プレストレスによる、プレキャストPC板どうしの継目部に与える影響。

*1 Yukio EMOTO：福岡大学工学部 助教授

*2 Fumitoshi KOGA：日本道路公団 福岡管理局下関管理事務所 副所長(元：福岡建設局構造技術課 課長)

*3 Hiroyuki YOSHIOKA：(財)高速道路技術センター 構造技術課 課長(元：福岡建設局大分工事事務所 工事長)

*4 Tadahiko TSUTSUMI：(株)富士ピー・エス 技術部

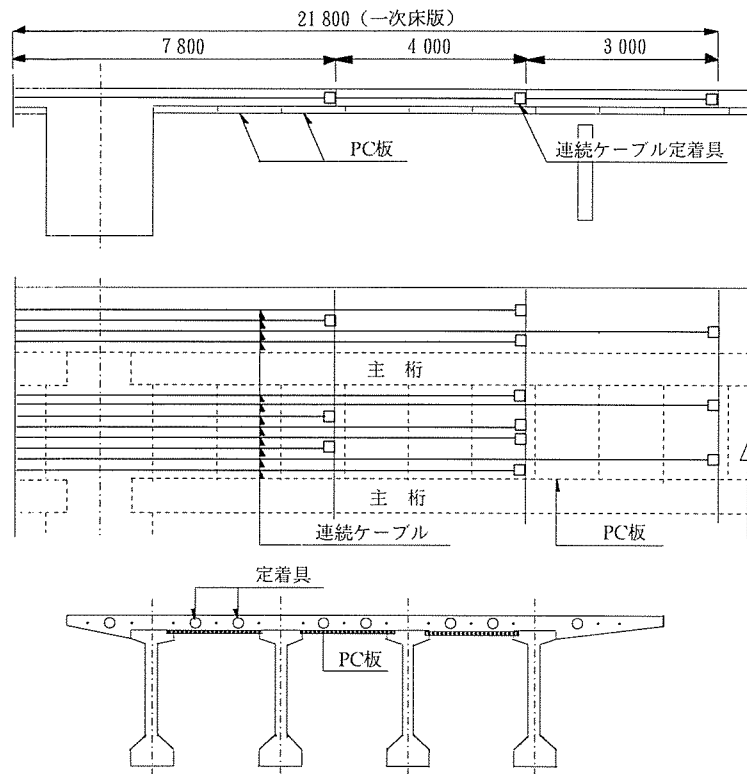


図-1 一次床版部構造図

- 4) プレストレスと輪荷重が合成された場合の応力度分布。
- 5) 繰返し载荷 (200 万回) による耐力の変化。

4. 载荷試験

4.1 試験方法

(1) 供試体

载荷試験に用いた供試体は、PC 合成床版工法を適用

する橋梁の主桁配置に対して床版の試設計を行い、これにより決定した構造に基づき製作した。

使用した PC 板の形状寸法を図-2 に示す。PC 板厚は 70 mm、幅は 998 mm、コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=500 \text{ kgf/cm}^2$ である。PC 板のプレストレスは $\phi 2.9 \text{ mm}$ 3 本より線を 20 本配置し、設計荷重作用時に支間中央においてフルプレストレスとなるよう導入した。

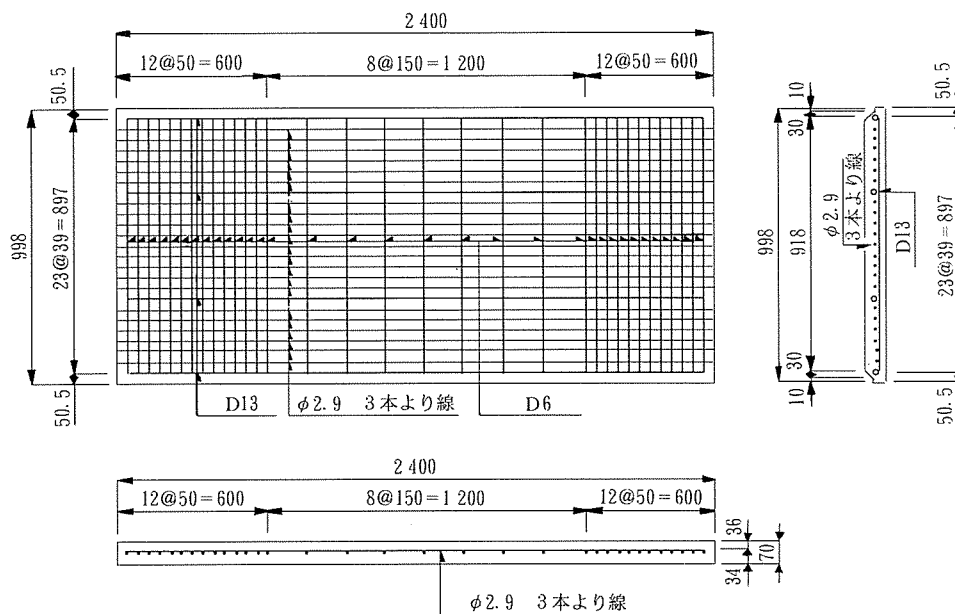


図-2 PC板構造図

◇設計報告◇

PC 合成床版の供試体は、一次、二次床版境界部を模したかたちのもので、床版の一支間分とした(図-3)。床版内の定着具周辺の構造は表-1に示す方法が考えられる。本橋では、PC 合成床版工法のメリットを最大限に活かす定着具周辺の構造として、①の方法を採用した。

床版厚は、床版上縁からのかぶり 30 mm を確保し、かつ一次床版ケーブル定着具の縁端距離 100 mm を確保するため、場所打ちコンクリート厚を 200 mm、PC 板厚を 70 mm として、PC 合成床版厚を 270 mm とした。さらに、現場打ちコンクリートの打ち継目と、PC 板どうしの継目を 200 mm ずらし、床版としての弱点とならないように配慮した。

実橋では、一次床版部に導入される導入直後のプレストレスは、PC 鋼線 12φ7 で 44.3 t/本であるため、供試体は、これと同じ緊張力を SBPR 80/95 φ32 で導入した。

供試体の種類は、一次床版ケーブル定着部の PC 板と現場打ちコンクリート接合面に対する補強の必要性の有無を検討するため、補強筋を配置したものとししないものの 2 種類とした。供試体の種類を以下に示す。

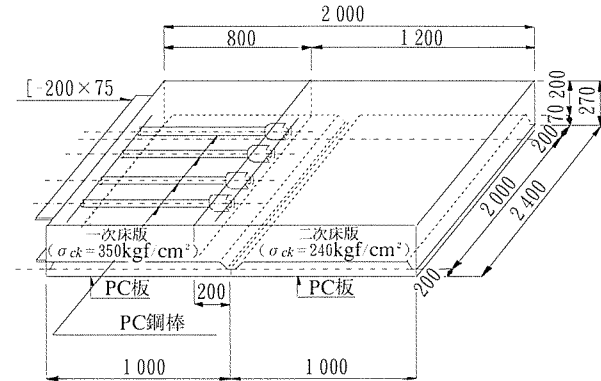


図-3 供試体詳細図

表-1 定着部構造比較

定着部の構造	特徴
①	定着具周辺の局所的な大きな応力に対する補強が必要である。定着具周りのコンクリートの充填具合を確認する必要がある。しかしながら、PC 合成床版工法のメリットを最大限に生かした工法である。
②	定着具前面の局所的な大きな応力に対する補強が必要である。コンクリートの充填具合に関する①のような問題はないが、打ち継目コンクリートの仕上がりに相当の精度を要する。
③	定着具周辺の強度、施工性に関わる①、②のような問題はないが、部分的に支保工、型枠が必要となる。ひびわれの発生が懸念されるため、耐久性に問題がある。

静的試験 2 体

Aタイプ：定着部補強あり

Bタイプ：定着部補強なし

動的試験 2 体

Aタイプ：定着部補強あり

Bタイプ：定着部補強なし

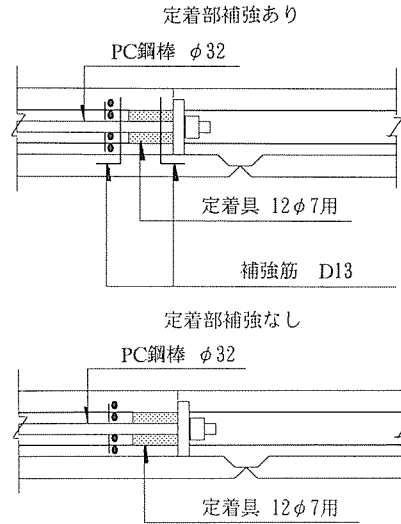


図-4 定着部詳細図

表-2に供試体を使用した PC 板および現場打ちコンクリートの圧縮強度と静弾性係数を示す。

表-2 コンクリートの材料特性

		強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
PC 板	28 日	528	3.7×10 ⁵
場所打ちコンクリート	プレストレス導入時	一次床版	296
		二次床版	-
	輪荷重載荷時	一次床版	401
		二次床版	288

(2) 荷重要領および測定要領

一次床版コンクリート打設後一週間養生した後、PC

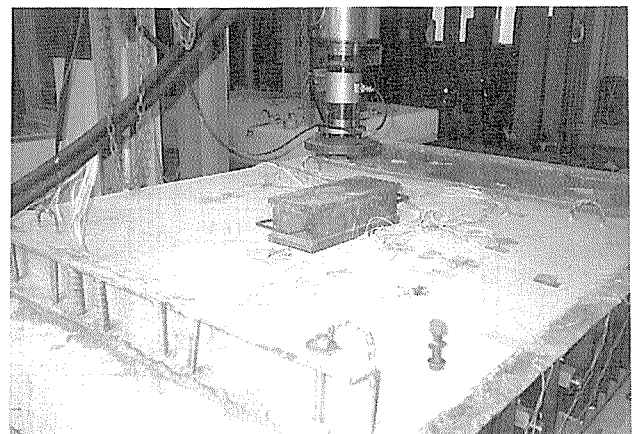


写真-1 荷重試験状況

鋼棒 $\phi 32$ を緊張してプレストレスの導入を行った。荷重位置は、スパン中央付近の一次、二次床版現場打ちコンクリート打継ぎ部とし、輪荷重の荷重幅 (200 mm \times 500 mm) で油圧ジャッキにより荷重した (写真-1)。静的荷重試験は、設計輪荷重 9.6tf で荷重した後、最大 80 tf まで荷重した。動的荷重試験は、荷重振幅 0.5 ~ 9.6 tf を 2 Hz で 200 万回荷重した。

測定箇所は、スパン中央断面と鋼棒配置断面の 2 断面とし、たわみについてはスパン方向とスパン直角方向の 2 方向について測定した。測定項目を以下に、測定位置を図-5 に示す。

- 1) たわみ
- 2) コンクリートのひずみ
- 3) 鉄筋のひずみ
- 4) PC 板継目部の変位

4.2 測定結果および考察

一次床版プレストレス導入時およびプレストレスの導入された床版に輪荷重を荷重した場合の応力度分布を現場打ちコンクリートと PC 板が一体となった三次元モデルによる FEM 解析を行い、実測値との比較を行った。図-6 に FEM 解析モデルの要素分割を示す。

- (1) 一次床版プレストレス導入時の PC 板と現場打ちコンクリートの付着性状

図-7 に導入プレストレスと PC 板上縁のひずみの関係を示す。一次床版プレストレス導入時には、A, B タイプ供試体ともにプレストレスとひずみの関係は直線分布を示しており、現場打ちコンクリートと PC 板の付着性状は、一次床版プレストレスによっては影響されないと考えられる。また、A, B タイプ供試体ともにほぼ同程度の値を示していることから、PC 板と現場打ちコン

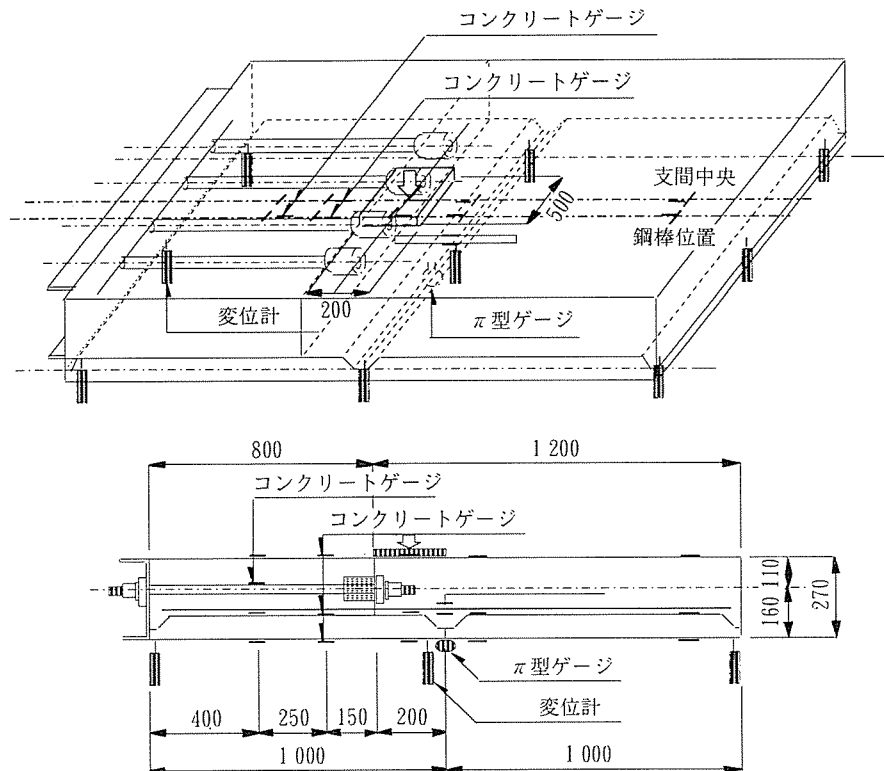


図-5 測定位置図

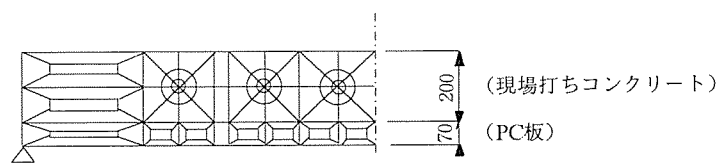
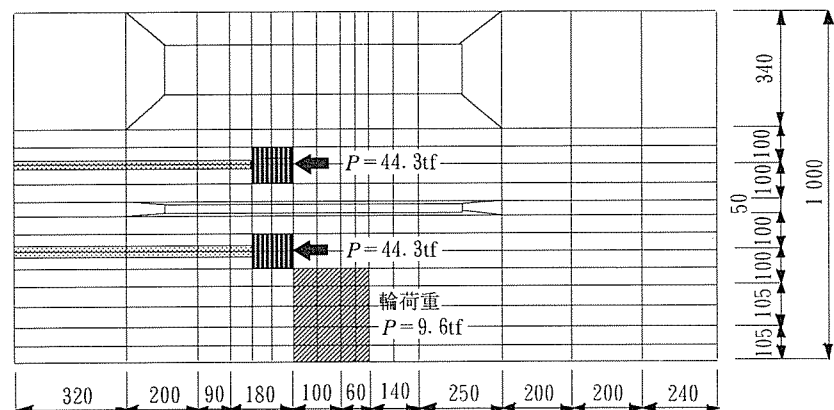
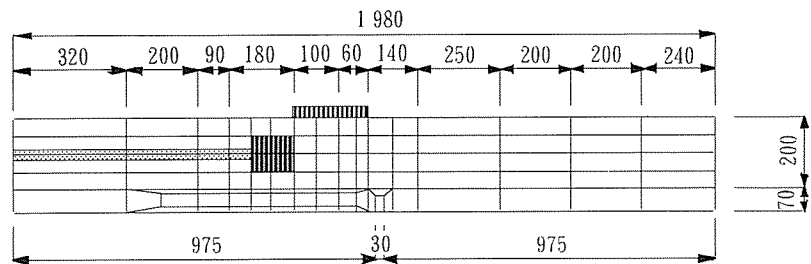


図-6 FEM モデルの要素分割図

◇設計報告◇

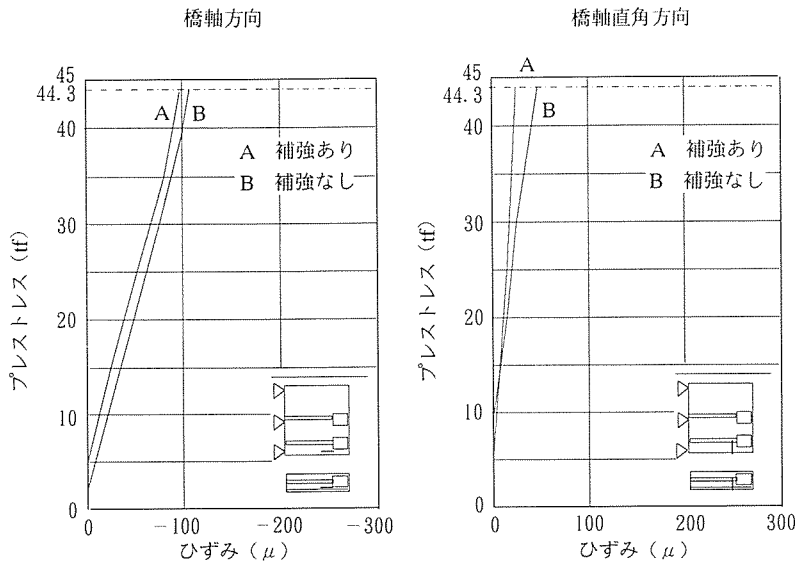


図-7 PC板上縁 荷重-ひずみ図

クリート接合面に配置した補強筋の効果は明らかではなく、施工性を考慮し、実橋ではPC板に補強筋は配置しないものとした。

(2) 一次床版プレストレスによる応力度分布

一次床版の現場打ちコンクリート部にプレストレスを導入したときの定着具近傍の応力度は、橋軸方向で最大 60 kgf/cm²、橋軸直角方向で最小 -15 kgf/cm²を示した。これは、FEM 解析結果とほぼ同程度の応力度を示しているが、橋軸直角方向に引張応力が生じているため、実橋においてはその補強として定着具をとりまくかたちでスパイラル筋を配置することとした。

(3) 一次床版プレストレスと輪荷重による応力度分布

図-8 に一次床版にプレストレスが導入された供試体に輪荷重 9.6 tf を $N=1$ 回載荷した場合と $N=200$ 万回載荷した場合の現場打ちコンクリート上縁の応力度を示す。同様に図-9 には、PC 板上縁の応力度を示す。なお、応力度は一次床版プレストレスと輪荷

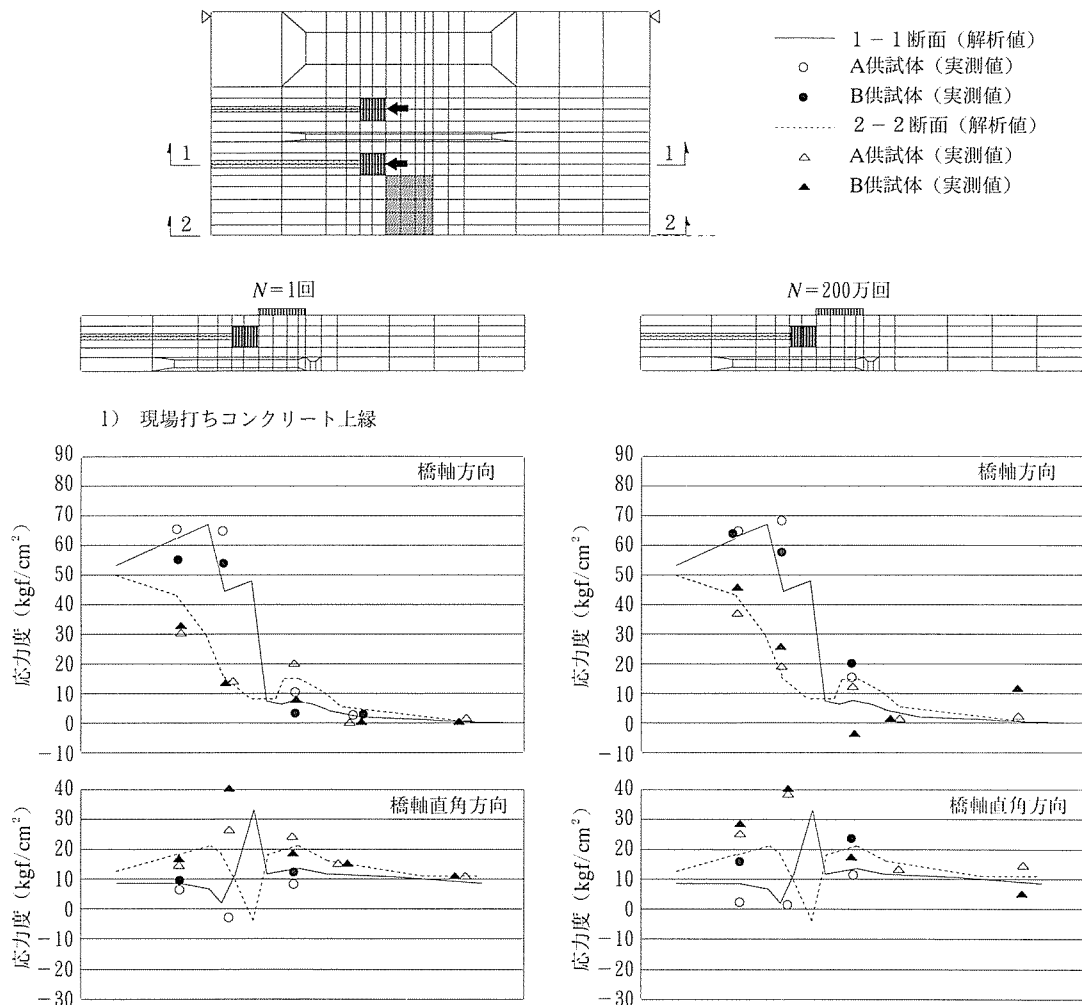


図-8 現場打ちコンクリート上縁の応力度分布

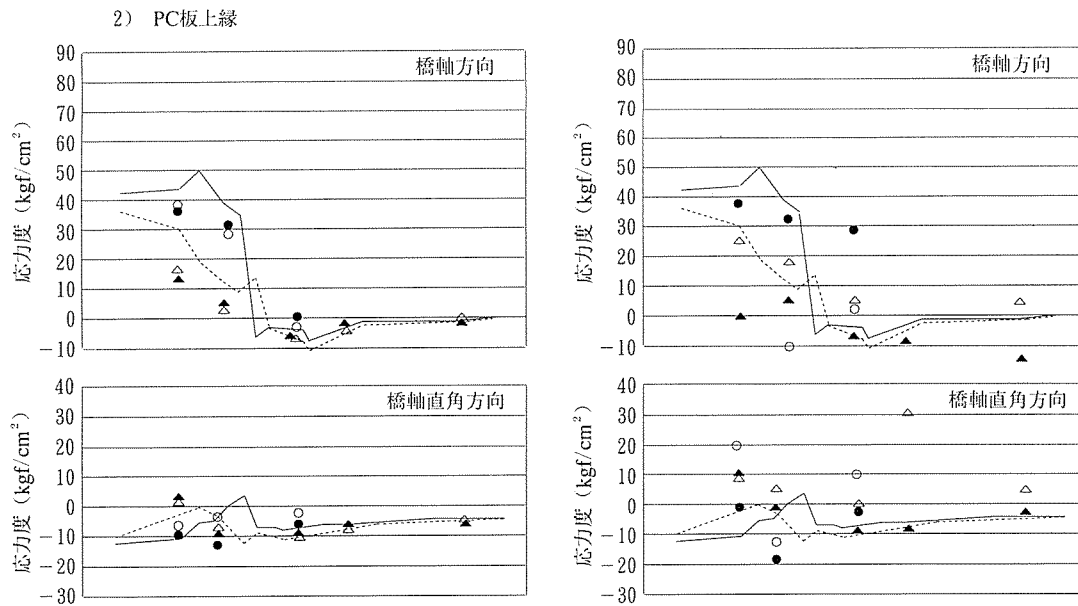


図-9 PC板上縁の応力度分布

重による応力度の合成応力度である。現場打ちコンクリート上縁の応力度は、 $N=1$ 回輪荷重載荷時には実測値は解析値とほぼ等しい値を示しており、橋軸方向で最大 65 kgf/cm^2 の圧縮応力度と橋軸直角方向に最小 -5 kgf/cm^2 の引張応力度が生じている。

200 万回載荷後は、応力度分布に多少のばらつきが生じているものの、橋軸方向の圧縮応力度の増加は 5 kgf/cm^2 程度と小さく、ひびわれの発生はなかった。

PC 板上縁の応力度も輪荷重 $N=1$ 回載荷時においては、実測値と解析値はほぼ等しい値を示した。現場打ちコンクリート上縁の応力度同様、 $N=200$ 万回載荷後の応力度は定着具近傍で多少のばらつきが生じているが、

橋軸方向で最大 70 kgf/cm^2 程度の圧縮応力度であり、問題のない値であった。

(4) たわみ

図-10は、輪荷重 9.6 tf を載荷したときの橋軸直角方向および橋軸方向のたわみを示す。

$N=1$ 回載荷時に対し、 $N=200$ 万回疲労試験後のたわみの増加はほとんどなく、PC 合成床版の耐力の低下は非常に小さいと考えられる。また、たわみ曲線は等方性の版として解析した値と良く一致している。

5. 設 計

5.1 床 版

本橋は、一次床版ケーブル ($12\phi 7$) を直線配置し、定着具を現場打ちコンクリート内に配置して定着する床版内定着方式を採用した。現場打ちコンクリート厚は、定着具が所要のかぶりおよび縁端距離を確保するよう 200 mm とした。PC 合成床版は、現場打ちコンクリート厚 200 mm 、PC 板厚 70 mm の合計 270 mm とし、等方性の版として設計した。PC 板に導入するプレストレス量は、設計荷重作用時にフルプレストレスとなるよう、SWPD 3 (2.9 mm 3 本より線) を PC 板 1 枚当り 20 本配置した。

橋軸方向は、PC 板継目部を設計断面として、現場打ちコンクリートのみで作用断面力に抵抗するものとし、 $D 16 \text{ etc } 125 \text{ mm}$ を配置した。

現場打ちコンクリート内に配置する一次床版ケーブルの定着具はスパイラル筋でとりまき、定着具近傍の引張応力度の発生を抑えることとした。また、PC 板継目部と現場打ちコンクリート打ち継目が一致することによ

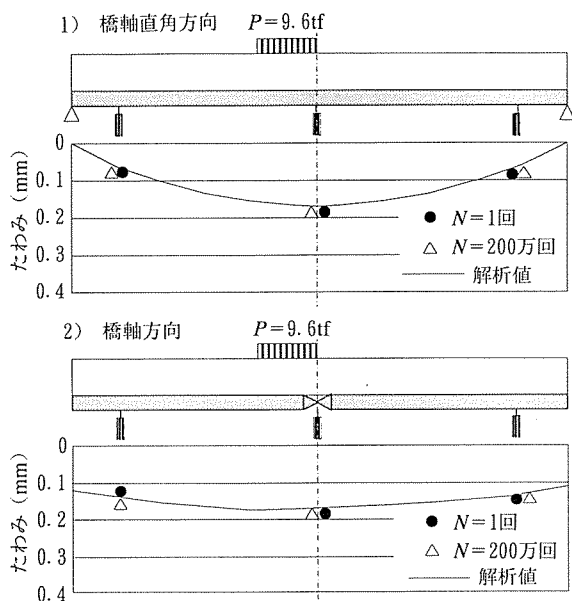


図-10 PC 合成床版の荷重-たわみ図

◇設計報告◇

り、せん断力に対して弱点とならないよう、緊張作業が可能な範囲で極力ずらすこととした。

5.2 桁としての設計

桁の設計においては、PC 合成床版は、現場打ちコンクリート部のみが抵抗するものとした。PC 合成床版と桁のクリープ・乾燥収縮・温度差によって生ずる不静定力およびたわみの算定においては、PC 合成床版を全断面有効とした。本橋の場合、一次床版ケーブルの定着具を現場打ちコンクリート内に定着する方法を採用したことにより、一次床版を3回に分割して施工することとなる。しかし、クリープ解析においては、それぞれのブロックの材令差があまり大きくなならないことを考慮し、平均材令を使用して一次床版が一度に施工されるものとして設計を行った。

6. あとがき

本文では、PC 合成床版を PC 連続合成桁構造に適用するにあたっての問題点について、実橋を想定して行った模型実験を中心に報告した。実験結果より、一次床版ケーブルの定着具近傍に多少の補強を施すことで適用できることが確認された。本実験では、床版の一部を模したかたちのモデル供試体を使用した実験にとどまったが、PC 連続合成桁橋における PC 合成床版の挙動をさらに深く解明するため、実橋での載荷試験を実施した。

次回は、その実橋載荷試験結果を施工と合わせて報告する予定である。最後に、本報告を作成するにあたり、ご協力いただいた関係者各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) (社)土木学会：PC 合成床版工法設計施工指針（案）
- 2) (社)土木学会：アンダーソン工法設計施工指針

【1993年5月10日受付】

◀刊行物案内▶

最新 PC 橋 架 設 工 法

体 裁：B5判 147頁

頒布価格：3 000 円（送料：350 円）

内 容：PC 橋架設工法総論 〈桁橋〉張出し工法概論／ディビダーク工法／FCC——PC 鋼より線を用いた片持ち張出し工法／P & Z 工法／架設桁を用いた場所打ち張出し工法／フリー・ワイズ・ワーゲン工法／逆片持ち架設工法／幅員が大きく変化する PC 橋の片持ち梁架設工法／プレキャストブロックキャンチレバー工法／押出し工法概論／TL 押出し工法／SSY 式押出し工法／RS 工法／移動支保工架設工法概論／ゲリュストワーゲン工法／OKK 式大型移動支保工／FPS 式移動支保工／ストラバーグ方式可動支保工／プレキャスト桁架設工法概論／固定支保工式架設工法概論 〈アーチ橋〉アーチ橋架設工法概論／ピロン・メラン張出し工法／トラス張出し工法／トラス・メラン併用工法／ロアリング式架設工法／CLCA 工法（剛性アーチ巻立て工法） 〈斜張橋〉斜張橋架設工法概論／SLT 工法／ジャンピングステージ工法（主塔施工用移動足場工法）／スウェーフト工法／埋込み桁を用いたキャンチレバー架設工法／主塔用クライミングフォーム工法／FPR 斜材外套管の架設工法／斜張ケーブルの被覆工法／複数集合斜材の架設・緊張工法／ π フレーム工法 〈吊床版橋〉吊床版橋架設工法概論／吊床版懸垂架設工法／吊床版架設工法／吊床版橋のスライド式架設工法／吊床版橋の架設工法 〈その他の橋梁〉バイプレ工法／プレビーム工法／PC トラスの架設工法／PC 方杖ラーメン橋片持ち架設工法