

高耐久性のPC床版を長期間有効に活用するための課題

Subjects to Utilize PC Slab with High Durability for Long Lifetime Effectively

河村直彦*, 蛭名貴之**, 坂井田実***, 松村寿男****, 谷口義則*****, 宍戸康彦*****, 鄭慶玉*****
Naohiko KAWAMURA, Takayuki EBINA, Minoru SAKAIDA, Toshio MATSUMURA, Yoshinori TANIGUCHI,
Yasuhiko SHISHIDO and Keigyoku TEI

* (株)ピーエス三菱 技術本部技術推進部 (〒104-8215 東京都中央区銀座 7-16-12)

** ドーピー建設工業(株) 本社技術センター (〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-16-6)

*** (株)帝国建設コンサルタント コンサルタント本部 (〒501-3133 岐阜県岐阜市芥見南山 2-4-26)

**** 瀧上工業(株) 技術設計グループ (〒454-8517 愛知県名古屋市中川区清川町 2-1)

***** 極東工業(株) 技術本部開発課 (〒732-0052 広島県広島市東区光町 2-6-31)

***** 住友重機械工業(株) 技術開発部 西日本技術G (〒541-0041 大阪市中央区北浜 4-7-28)

***** オリエンタル建設(株) 技術研究所 (〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘 5)

The first bridge, which has pre-stressed concrete structure, was constructed in 1952. In recent years, the PC slab has been applied to the deck of steel bridge, because it is more durable than the RC slab and it can reduce the number of main girder. As the PC slab becomes popular, some problems are newly appeared. For example, evaluation method of the durability and strength of the PC slab after retrofitting is not established, when scraping of pavement on it thins it and when it is replaced partially. And retrofitting method is also not established. The pre-cast PC slab and the cast-in-place PC slab have some each problem. Study Group for Rationalization of Highway Bridge's Slab of JSCE examines such problems, in order to utilize durable PC slab for its long lifetime effectively.

Key Words: pre-cast PC slab, cast-in-place PC slab, durability

キーワード: プレキャストPC床版, 場所打ちPC床版, 耐久性

1. はじめに

RC床版に比べて高い耐久性を有するPC床版は、広い床版支間に対応できることから鋼少数主桁橋の床版として用いられるようになってきた。我が国でプレストレストコンクリート(PC)構造が橋梁に本格的に適用され始めて半世紀以上が経過した。近年では鋼橋の床版にも積極的にPC構造が採用されるようになるなど、PC構造の適用範囲が広がり、構造物の耐久性向上に大きく寄与している。

より有効に活用するために行われた研究や検討の蓄積やコンピュータを用いた解析技術の向上などによって、合理的な設計が可能となる一方で、耐久性が向上するのにもなって、PC床版の供用期間中に行われる舗装や防水工の打ち替え回数の増加や、拡幅の必要性の増大が見込まれるにもかかわらず、床版コンクリート切削による床版の耐久性や強度の低下についての評価方法や補強方法が確立されていない。

さらにプレキャストPC床版では、複雑な路面の縦横断線形の橋梁に適用する場合に生じる床版上面の目違いが舗装打ち替えなどの作業に与える影響についても明確になっていない。

本報告では、PC床版の現状について現場打ちPC床版とプレキャストPC床版に分けて簡単にとりまとめ、耐久

性の高いPC床版を長期間にわたって有効に活用するために検討すべき課題について示す。

なお、本報告は、平成5年から土木学会鋼構造委員会鋼橋床版の調査研究小委員会(松井繁之委員長)及び同道路橋床版の調査研究小委員会(堀川都志雄委員長)において実施された以下の分野での活動成果¹⁾をふまえ、現在活動中の同道路橋床版の合理化検討小委員会コンクリート系床版分科会PC床版WGにおいて検討中の新たな検討課題の項目についてとりまとめたものである。

- PC床版の施工時温度応力に関する解析法の確立
- 施工時を含めた連続合成桁への設計法の適用
- ずれ止め設計法の見直し
- 合理的な構造の提案

2. PC床版の特徴と現状

2.1 PC床版の概要

日本で鋼橋にコンクリート床版が初めて採用されたのは明治19年にまでさかのぼる。その後、昭和32年に大阪市内において、日本で最初の連続鋼合成桁のひとつである太左衛門橋の中間支点部にひび割れ対策としてPC鋼棒によりプレストレス力が導入された。これが、日本で初めて採用されたPC床版と言われている。PCに関する特許は

昭和 3 年にフランス人技術者フレッシューにより日本政府に出願され、昭和 27 年に日本で初めての PC 橋・長生橋が石川県七尾市で完成した。それから数えること 5 年後のことである。

高速道路黎明期の昭和 40 年代初頭には、道路橋 RC 床版のひび割れ損傷事故が報告されるようになり、時を同じくして、PC 床版に関する研究も盛んに行われた。しかし、RC 床版のひび割れの原因が、競争設計により鋼重を減らすため、主桁間隔を広げ、床版厚を薄くしたことであることが明らかになると、鋼合成桁の採用は少なくなり、その流れの中で場所打ちの PC 床版の採用も減少していった。その代わり、損傷が著しく打ち替えが必要な RC 床版の補修用取り替え床版として、プレキャスト形式の PC 床版が注目された。以上が日本の PC 床版の歴史といえる。

それから十数年後、第二東名・名神高速道路などのビッグプロジェクトが推進され、建設業に新たに設計の合理化と建設費のコスト縮減が命題として課された。鋼橋では建設の合理化と建設費のコスト縮減のソリューションとして少数主桁橋を登場させた。このことが再度 PC 床版を注目させ、その開発を加速させることになった。PC 床版は、少数主桁橋の登場による床版の長支間化に対応可能であるという側面と現場での作業を縮小できるという側面も併せ持つ。特に、プレキャストの PC 床版は工期を短縮する上で、非常に有効であるため、採用実績も飛躍的に増加した。

PC 床版は場所打ち PC 床版とプレキャスト PC 床版に大別される。工期短縮の点からはプレキャスト PC 床版が有利であるが、少数主桁橋で移動式型枠支持工にて施工を行う条件下では場所打ち PC 床版が多く採用され、トラッククレーンなどによる床版の架設が可能な条件ではプレキャスト PC 床版が多く採用される。

また、近年では、PC 型枠合成床版も開発された。この形式は、RC または PC 構造の厚さの薄いプレキャストコンクリート板を鋼主桁間に配置して埋設型枠とし、その上にコンクリートを打設して一体化し、床版を形成するものである。このような床版は、埋設型枠のみプレキャスト部材であるため、ハーフプレキャスト合成床版といえる。

2.2 プレキャスト PC 床版の特徴と現状

近年、鋼少主桁橋の床版として高い耐久性を有する PC 床版および合成床版が用いられており、その中でもプレキャスト PC 床版は、第二東名・名神高速道路を中心に採用が増えつつある。本節では、プレキャスト PC 床版の特徴と現状について記述する。

プレキャスト PC 床版は、工場製作されたものを現場にて鋼桁上に架設し、一体化するものである。その特徴としては、(1)工場製作することにより、安定した品質を確保できること、(2)現場での施工工程を短縮できること、等があげられる。

プレキャスト PC 床版を有する鋼橋の施工例を表-2.1 に示す。

示す。

表-2.1 プレキャスト PC 床版の施工例¹⁾

橋名	床版支間	構造形式
町屋川橋	6.0m	鋼 2 主桁桁
上郷高架橋	7.6m	鋼 2 主桁桁
南港出入路	4.2m	鋼 2 主桁桁

これらの施工例では、床版支間は 4.2m～7.6m であり、構造形式においても鋼 2 主桁桁、鋼 2 主桁桁とさまざまな形式で採用されている。プレキャスト PC 床版は、工場製作であるため安定した品質が得られ、現場工程にて型枠支保工、配筋、コンクリート打設等の作業が省力化され、施工における安全性も向上し、さらには床版工における現場施工期間が短縮できるといったメリットがある。また一般的にプレキャスト PC 床版は、工場製作後、ある程度の期間保管した後に現場へ搬入することにより、早期材齢における乾燥収縮やクリープを現場据付け前に発現させることができ、架設後の床版への影響が少なくなる。なお、プレキャスト PC 床版は、橋梁形式および輸送・架設にともなう寸法や重量などの制約によって総合的に判断し、形状を決定されることが多いようである。

なお道路橋用プレキャスト PC 床版は 2004 年に JIS A 5373 に規定され、その適用範囲は、床版支間 4.0m～6.0m である。床版支間が 6.0m を超える場合には別途詳細な検討が必要である。

2.3 場所打ち PC 床版の特徴と現状

北海道縦貫自動車道のホロナイ川橋²⁾が施工されて以来、コスト縮減、耐久性および施工の省力化の面から「場所打ち PC 床版を有する鋼少主桁橋」が多く建設されてきた。

近年、場所打ち PC 床版は、第二東名高速道路における広幅員の橋梁の建設に伴い、数例ではあるが、床版支間が 6m を超える長支間場所打ち PC 床版を有する鋼桁橋が施工されている。

最近の第二東名高速道路における、床版支間が 6m を超える長支間場所打ち PC 床版を有する鋼桁橋の施工例を表-2.2 に示す。

表-2.2 長支間場所打ち PC 床版の施工例

橋名	床版支間	構造形式	床版の施工方法
中之沢橋	11.5m	鋼 2 主桁桁	固定支保工
藁科川橋	11.0m	鋼 2 主桁桁	移動支保工
中ノ郷第一高架橋(上り線)	10.0m	鋼 2 主桁桁	移動支保工
中ノ郷第一高架橋(下り線)	6.05～7.8m	鋼 3 主桁桁	固定支保工

表-2.2 に示す施工例では、床版支間は 6.05m～11.5m、構

造形式も鋼2主桁桁と鋼3主桁桁，場所打ちPC床版の施工方法も移動式型枠支保工と固定式型枠支保工で施工されている。なお，中ノ郷第一高架橋（下り線）で固定式型枠支保工を採用するに至った経緯は，幅員と主桁間隔が変化（6.05m～7.8m）することに起因しているようである。

一方，床版支間が道路橋示方書³⁾の規定を遵守する橋梁は実績も多く，あらゆる面でその優位性が知られている。一時は床版の長支間化への動きが見られたが，近年では床版支間を6m以下にして道路橋示方書の規定を遵守する傾向が強いようである。

3. PC床版の耐久性確保に向けて

3.1 PC床版の耐久性確保に関する課題

PC床版は，コンクリートにプレストレスを与えることによって耐荷性が向上するだけでなく，活荷重作用時にもコンクリートにひび割れを発生させない構造であるため，疲労耐久性や耐塩害性，耐凍害性などについても向上し，長期使用に対する耐久性が向上する。しかし，耐久性が向上すると供用期間が長くなり，ある床版がその供用期間中に事故などによって損傷する確率が高くなる，付随する舗装や地覆，高欄などの補修や取り替えの回数が増加するなど，プレストレスされているコンクリートの一部がなくなったり打ち換えられたりすることに対する配慮が必要となる。

また鋼橋に用いられるPC床版は，橋軸方向にはコンクリートに添加される膨張材による圧縮力や架設時のジャッキアップダウンによる圧縮力が導入される場合がほとんどで，PC橋における床版のように橋軸方向に大きなプレストレスが導入されない。これに加えて鋼材のリラクセーションが小さいことや鋼桁の剛性が床版の剛性に対して小さいことなどから，ずれ止め部のコンクリートの硬化後にプレストレスによる弾性変形を与える場合やコンクリート床版を主桁断面の一部として考慮する場合に特有の配慮が必要となる。

PC床版を鋼橋に用いる場合，その高い耐久性を長期間にわたって享受するために，次の点に着目した技術開発が必要である。

- 健全な初期状態の確保と初期状態の現場計測・評価技術
- 経年橋梁のプレストレス状況の現場計測・評価と長期的経年変化の予測
- 損傷や補修による応力状態の変化が橋梁全体および床版の耐荷性及び耐久性に与える影響の明確化と現場での計測・評価，またそれらに対する健全性保持または向上のための方策

前述したように，橋軸方向と橋軸直角方向についてはプレストレス量が大きく異なるため，これらの検討は方向別に行わなければならない。

3.2 プレキャストPC床版の課題と取り組み

(1) プレキャストPC床版に関する課題

プレキャストPC床版に関する課題を以下に示す。

- プレキャスト床版先端部分の剥落
- 舗装打ち換えによる床版の耐久性
- 既設PC床版の拡幅
- 床版の取り替え

(2) プレキャスト床版先端部分の剥落への取り組み

プレキャストPC床版の橋軸方向接合部は，場所打ち部を少なくするために多くはループ鉄筋継手を採用している。そこで，ここではループ継手構造に着目した問題点を考える。

ループ継手（図-3.1）は，規定の活荷重に対しては，十分な安全性を有していることが確認されているが，プレキャストPC床版の先端部分は，施工時において桁上のスタッドジベルおよび隣接版の継手等に接触し，角欠けなどの損傷が生じることが考えられる。さらに規定外の荷重を受けた場合，ひび割れが発生し，剥落によって第三者に被害を及ぼす可能性が考えられる。

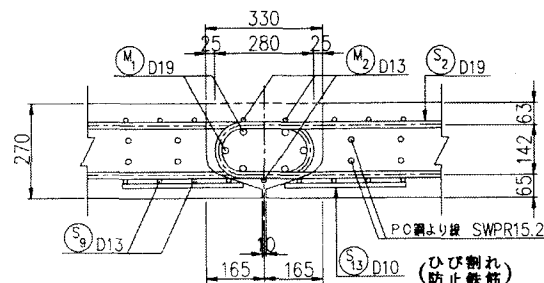


図-3.1 ループ継手構造⁴⁾

最近では，このような問題を解決するために，プレキャストPC床版の先端部分において，ひび割れ防止鉄筋を配置することが標準化されており，さらにアラミド繊維線を設置することにより安全性を向上させるといった施工方法を採用している事例もある（図-3.2）。

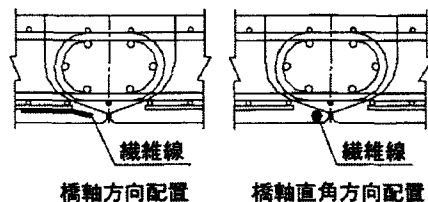


図-3.2 ループ継手部の剥落防止方法⁵⁾

(3) 舗装打ち換えによる床版の耐久性

一般的にプレキャストPC床版を有する橋梁は，幅員変化が少なくかつ平面線形および縦横断線形の変化が小さい場合が多い。大幅な幅員変化や縦横断線形の変化がある橋梁にプレキャストPC床版を適用した場合，施工誤差の

吸収が困難となり、床版上面の目違いが発生することが考えられる。その場合、舗装打ち換え時において床版断面を切削されることが想定され、床版厚が薄くなることに起因した、所定の耐久性や強度の低下が懸念される。

このような問題については、当初コンクリート床版上の舗装打ち換えは床版を傷つけないように注意を払われていたが、上面増厚工法での切削工程の出現により床版を多少傷つけても大丈夫だという認識を持たれており、このような意識のもと、舗装打ち換えが行われているのが現状のようである。

床版の切削の影響は床版厚の減少もさることながら、切削されたことによるマイクロクラックの発生も危惧されており、これが原因と疑われる損傷事例も見られているようである。

(4) 既設 PC 床版の拡幅

施工時に将来の拡幅を考慮した例として、第二東名高速道路での PC 箱桁橋の設計では、車線幅幅を織り込んだ設計が行われている⁶⁾。

これは、建設当初においては片側 2 車線の通常の箱桁として供用を開始する。その後、交通量の増大により拡幅が必要とされたときに張出床版を拡幅する。拡幅部分の床版構造は RC 床版となることを想定しているようであり、図-3.3 に示すように拡幅した床版をストラットによって支える構造としている。

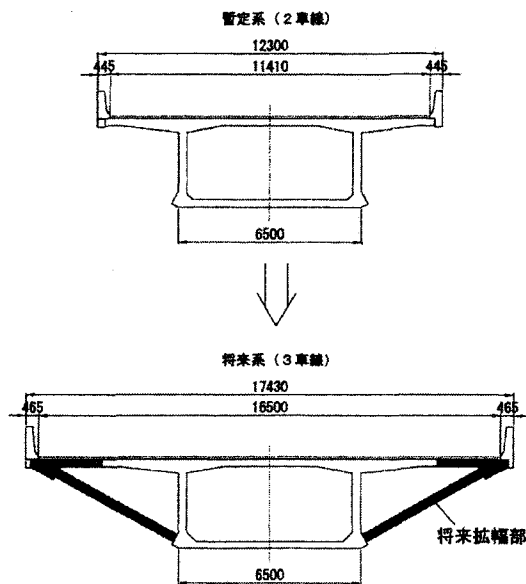


図-3.3 将来拡幅を考慮した PC 箱桁橋での設計例⁶⁾

この例では設計の段階から道路幅員を拡幅することを想定しているため、ストラットを取り付けるための突起や床版鉄筋を連続させるために予め地覆の内部にまで鉄筋を延ばすことで床版コンクリートを傷つけることなく鉄筋を接合できるなどの構造的な工夫がなされている。

しかし、前述したように将来の床版拡幅を想定して設計されている例は非常に稀であるといえる。通常、床版に限らずコンクリートを打ち継ぐ場合は、その接合面での断面力を伝達させることが最大の課題となる。プレテンション方式による PC 床版であれば、PC 鋼より線の付着によりプレストレスを導入していることから既設コンクリートより鉄筋をはつりだして鉄筋を繋ぐことは可能である。それに対して、ポストテンション方式では端部の定着板によりプレストレスを導入しているため緊張力を保持したまま定着部付近のコンクリートをはつり、鉄筋を露出させることは事実上不可能である。

こうした問題に対して、文献⁷⁾では PC 鋼線を緊張状態のまま、途中で定着することで任意の位置から既存の定着端までの緊張力を解放することを可能としている(図-3.4)。

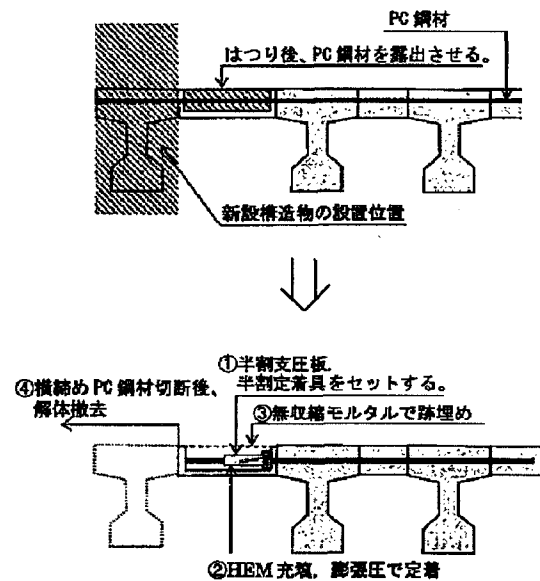


図-3.4 プレストレスを保持する拡幅例⁷⁾
HEM : Highly Expansive Material (高膨張材料)

(5) 床版の取り替え

PC 床版は、一般的に半永久的に健全な状態で供用することを前提に考えられているため、床版の部分的な取り替えに関しては、構造的配慮がされていない。しかしながら、近年の交通量増加による疲労の他に、重量物の落下や車両火災等の事故が起因となり、床版の取り替えが必要となる不測の事態が発生することも予測される。この問題に関しては、床版取り替えを前提とした構造を構築することが、今後の検討課題である。

これまでプレキャスト PC 床版が昭和 49 年に初めて採用された滑川橋から数えても約 30 年、少数主桁橋として初めて採用された第二東海自動車道の東海大府高架橋からも約 10 年ほどしか経っておらず、プレキャスト PC 床版の取り替えは現時点では行われていないと思われる。

取り替え工事で PC 床版に特有の課題を挙げるとするな

らば、大きな緊張力が導入されている PC 鋼線の存在であろうかと思われる。特に部分的に交通を確保するならば、その箇所についてはプレストレスを残しておくことも考慮する必要がある。こうした問題点に対しては拡幅に対する対応策でも述べた方法と同様な方策をとることが可能であると考えられる。

3.3 場所打ち PC 床版の課題と取り組み

(1) 場所打ち PC 床版に関する課題

場所打ち PC 床版に関する課題を以下に示す。

- 温度応力を主原因とする施工時のひび割れ
- プレストレスの導入確認方法
- 床版のメンテナンス（取り替え、補修・補強）
- 長支間床版の設計曲げモーメント式
- 施工時と完成後のトータルな床版設計方法

(2) 温度応力を主原因とする施工時のひび割れ

床版の長支間化にともない、床版厚さも増加し、温度応力の問題が懸念されている。最近では、温度応力などを解析的に検討する技術が確立されつつある。この解析技術の確立により、温度応力により発生する引張応力を低減させる有効な方法のひとつである膨張材を使用したコンクリートの効果が定量的に把握できるようになってきている。第二東名高速道路など一部の橋梁においては、床版の検討に温度応力等を考慮した事例もあるようである。

しかしながら、施工時の問題と完成後の問題をトータルで考慮する床版の設計手法は確立されていないのが現状であり、オーソライズされるまでには至っていない。

(3) プレストレス導入確認

PC 床版を有する鋼 2 主桁橋において、プレストレスの効果を床版ランク D⁸⁾以上とするために、中間支点上の鋼桁をジャッキアップダウンし、橋軸方向プレストレスを導入する逐次ジャッキアップダウン工法が採用されてきた。

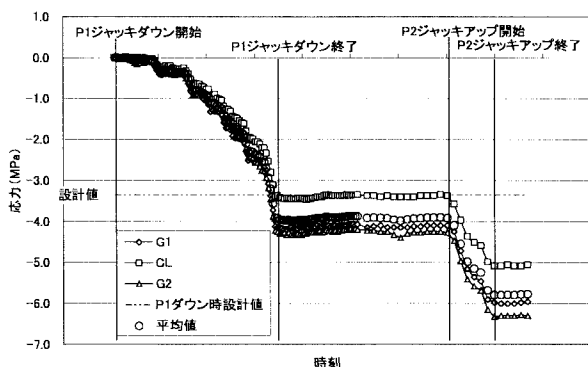


図-3.5 中間支点上の床版上面応力計測値¹⁰⁾

一方、プレストレスしない連続合成桁橋の採用により、ジャッキアップダウン工法を採用しないケースも増えて

いるが、沿岸地域のように塩害等、環境の厳しい条件下では採用の可能性も残る。

逐次ジャッキアップダウン工法は、数多くの施工実績があるが、導入プレストレス量を管理する方法が確立されていない。床版の耐久性品質を確認するために、プレストレス導入度を管理する方法は重要な事項である。その一方で、複雑な管理方法を提案するよりも、確認が容易な床版上面や鉄筋にひずみゲージを直接貼付し実橋計測を行った施工事例^{9),10)}もあり、今後の管理方法には検討の余地が残る。

(4) 床版のメンテナンス（取り替え、補修・補強）

近年の公共工事の減少、社会資本の効率的な整備の観点より、今後は床版のメンテナンスが注目されるであろう。当然のことながら、床版の取り替え、補修・補強工事の増加が考えられる。

場所打ち PC 床版を取り替える手法としては、プレキャスト床版を用いた取り替えが考えられる。取り替えに際しては、交通規制や、合成桁橋では施工時の鋼桁の横倒れ座屈等の検討が必要になり、架設系の検討を十分行わなければならない、一般に難工事になるケースが多い。

また、床版の補修・補強方法も種々の方法が提案されており、より合理的な床版形状（ハンチ等も含む）も検討課題のひとつといえる。

今後は、あらかじめプレキャスト PC 床版の取り替えができるような、鋼桁上フランジのスタッド構造の開発と、架設時安定性を確保した床版もしくは鋼桁の補修・補強構造の開発が急務であろう。

(5) 長支間床版の設計曲げモーメント

最近の第二東名高速道路における、床版支間が 6m を超える長支間場所打ち PC 床版を有する鉸橋の床版支間は 6.05m～11.5m であり、道路橋示方書³⁾の適用範囲を超えている。これら第二東名高速道路の床版の設計曲げモーメント式は三次元 FEM 解析を用いて検討¹¹⁾されており、解析事例も蓄積されてきている。

その一方で、土木学会の鋼橋床版の調査研究小委員会¹²⁾においては、床版支間が道路橋示方書の規準を超えた床版支間（正曲げ）部の設計曲げモーメント式に関して、直交異方性を考慮した有限要素法解析（FEM）を行い、合理的な設計曲げモーメント式の提案をしており、さらなる今後の発展に期待したいところである。

2 主桁橋の場合、床版支間中央の設計曲げモーメント式は一般的に道路橋示方書の単純版の規定が用いられている。一方、このような三次元 FEM 解析検討で得られた値は、連続版としての挙動を示しており、道路橋示方書の式よりも 2 割程度低減されており、合理化ははかられているといえよう。今後は提案式を標準化する必要がある。

(6) 施工時と完成後のトータルな床版設計方法（合成桁）

近年では、床版厚さ増加による温度応力の問題が懸念され、温度応力を三次元 FEM 解析にて検討する技術が確立

されつつある。一方で、全てのケースについて三次元解析を行うのは、非常に多くの労力を費やすため、精度をあまり低下させない、簡易的な設計手法が望まれている。

通常の設計計算では、施工時の床版に発生するような水和熱による温度応力は考慮していないが、床版の材齢を考慮したクリープ・乾燥収縮、常時の温度変化については、簡易的な設計ソフトで計算され、設計に反映されている。

これらの床版施工時および完成後の床版コンクリートの経時的な物性ならびに、逐次ジャッキアップダウン工法の変形挙動を考慮した解析手法の一つに、図-3.6に示すような理論を用いたCPはり要素法¹³⁾がある。

本手法は、コンクリート標準示方書^{14),15)}で推奨された、簡便なCP法を導入したはり要素による変形解析であり、鋼2主桁橋については、3次元FEM解析に近い結果が得られることが示されている。

床版施工時の温度応力を三次元FEM解析で行い、簡易設計計算結果に重ね合わせる手法も考えられるが、はり要素のみで計算できるため、トータル的に設計するにはCPはり要素法は有効な手段であろう。

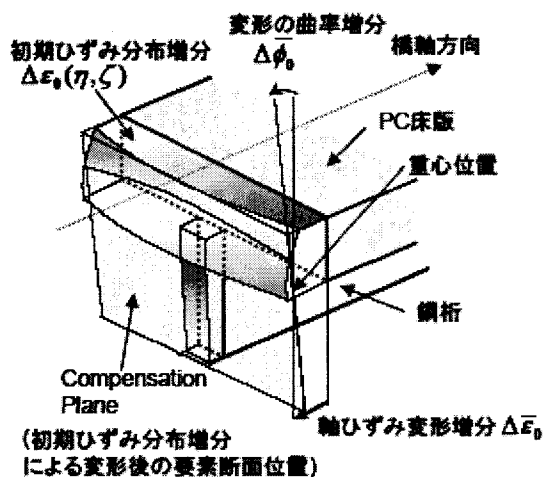


図-3.6 Compensation Plane¹³⁾

4. まとめ

近年、既設RC床版の疲労破壊が明らかになり、その対策が急務となっている。この主たる原因は過積載車両によるところが大きい。床版の疲労損傷メカニズムが解明されておらず、研究が進んだのがつい最近であることも一因であると考えられる。

PC床版は床版コンクリートのひび割れを抑制または制御できる構造物であり、RC床版に比べてはるかに高い耐荷性・耐久性を有している。特に高速道路のような重交通路線に対しては有効である。また、プレキャストPC床版や移動式型枠支保工による場所打ちPC床版の採用により、施工性も向上している。

主桁を含めたPC床版の設計・施工の合理化に関して集中的に取り組んできた結果、建設費についても低減がはか

られている。さらにライフサイクルコストという観点からは、大幅な経済性を発揮できることとなった。

本報告で述べたPC床版における諸課題を克服すれば、良質な社会資本を後世に残すことが可能である。本報告がPC床版のさらなる発展に役立つことを願う次第である。

参考文献

- 1) 土木学会鋼橋床版の調査研究小委員会:道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上, 2004.11.
- 2) 高橋, 小西, 志村, 橋:PC床版2主桁橋の設計・施工(ホロナイ川橋の床版施工, プレストレストコンクリート, Vol.38, No.1, 1996.
- 3) 道路橋示方書・同解説 鋼橋編・コンクリート橋編, 日本道路協会, 2002.3.
- 4) PC床版施工の手引き(プレキャスト床版編), 日本橋梁建設協会, 2004.11.
- 5) 宮下, 齊藤, 村上, 浦:アラミド繊維線を用いたプレキャストPC床版機能向上, プレストレストコンクリート技術協会, 第12回シンポジウム論文集, 2003.10.
- 6) 藤井, 青木, 田中, 岡山:将来の幅員拡張を考慮した箱げた床版の設計-第二東名高速道路入野高架橋-, プレストレストコンクリート技術協会, 第14回シンポジウム論文集, 2005.11.
- 7) 久保田, 原田, 山崎, 生田:定着用膨張材を用いた中間定着工法に関する基礎的研究と適用事例, プレストレストコンクリート技術協会, 第13回シンポジウム論文集, 2004.10.
- 8) PC床版鋼連続合成2主桁橋の設計・施工マニュアル, 財団法人高速道路技術センター, 2002.3.
- 9) 塩永, 藪野, 戸田, 西, 久保田:場所打ちPC床版のひび割れ抑制-「佐分利川橋」-, 石川島播磨技報 vol.43, No.4, pp.122-128, 2003.7.
- 10) 松村, 日置:床版打設時の水和熱を考慮した鋼2主連続合成桁橋の設計と施工-胎内川橋-, 技報たきがみ vol.23, pp54-61, 2005.11.
- 11) 例えば, 本間, 長谷, 榊原, 中村, 上原, 河西:長支間場所打ちPC床版の設計と施工-第二東名高速道路藁科川橋-, 橋梁と基礎, 2002.10.
- 12) 土木学会鋼橋床版の調査研究小委員会:第2分科会報告「床版の構造と設計」, 道路橋床版の新技術と性能照査型設計, 2000.10.
- 13) 石川, 西垣, 田辺:移動型枠支保工によるPC厚肉床版施工時ひび割れ評価法の提案, プレストレストコンクリート Vol.45, No.5, pp.97-107, 2003.5.
- 14) コンクリート標準示方書[施工編], 土木学会, 2002.3.
- 15) コンクリート標準示方書[構造的な性能照査編], 土木学会, 2002.3.