

高強度軽量プレキャストPC床版「HSLスラブ」による床版取替え工法について

山下 亮¹・郷保 英之¹

¹(株)IHIインフラ建設 PC技術部 (〒556-0017大阪府大阪市浪速区湊町1-4-1)

HSLスラブは既設鋼橋RC床版取替え用の高強度軽量プレキャストPC床版である。プレキャストPC床版を軽量化することにより、劣化したRC床版を健全かつ耐久性の高いPC床版に取り替えるとともに、車両の大型化や交通量の増加に伴う既設鋼主桁や下部工への負担を軽減することができる。コンクリートの軽量化を実現するため、粗骨材には膨張頁岩系の人工軽量骨材を使用し、普通コンクリートと比較して約20%の重量軽減効果を期待することとした。本稿は、HSLスラブの曲げ性能、凍結融解抵抗性、および疲労耐久性に関する性能確認試験、ならびに施工事例について報告するものである。

キーワード 床版取替え，軽量コンクリート，曲げ載荷試験，凍結融解試験，疲労耐久性試験

1. はじめに

近年、車両の大型化や交通量の増加による既設道路橋のRC床版の損傷事例が報告されている。損傷を受けたRC床版の補修・補強工法の1つにプレキャスト床版による床版取替え工法がある。床版取替え工法において、プレキャストPC床版を軽量化することは、車両の大型化や交通量の増加による鋼主桁や下部工への応力増加の負担を軽減できる。また、プレキャスト床版の軽量化は、運搬や架設機材を簡素化できるためコスト縮減効果も期待できる。これらの利点を活かした高強度軽量プレキャストPC床版「HSLスラブ」の開発を行った。本稿は、HSLスラブの曲げ性能、凍結融解抵抗性、および疲労耐久性に関する性能確認試験、ならびに施工事例について報告するものである。

ン方式によるPC構造またはRC構造とした。軽量コンクリートの単位体積重量は、普通コンクリートと比較して約20%減とし、圧縮強度は一般的な普通コンクリートを用いたプレキャストPC床版と同等とした。また、軽量コンクリートの使用による過大なたわみを防止するため、静弾性係数に制限値を設けた。

(2) 床版としての要求性能

床版としての要求性能は以下の通りに設定した。

a) 曲げモーメントに対する要求性能

たわみ：設計荷重作用時に過大なたわみを生じないこと。

ひび割れ安全性：計算によるひび割れ発生荷重と同等の抵抗性を有していること。

強度：計算による曲げ耐力と同等の耐力を有してい

2. HSLスラブの概要

(1) 基本構造

HSLスラブの基本構造を図-1に示す。また、軽量コンクリートの特性は以下の通りに設定した。

単位体積重量：19.0kN/m³以下

圧縮強度：プレストレス導入時35N/mm²以上
かつ設計荷重作用時50N/mm²以上

静弾性係数：プレストレス導入時19500N/mm²以上
かつ設計荷重作用時22000N/mm²以上

HSLスラブの基本構造は、橋軸直角方向をプレテンション方式によるPC構造、橋軸方向をポストテンシ

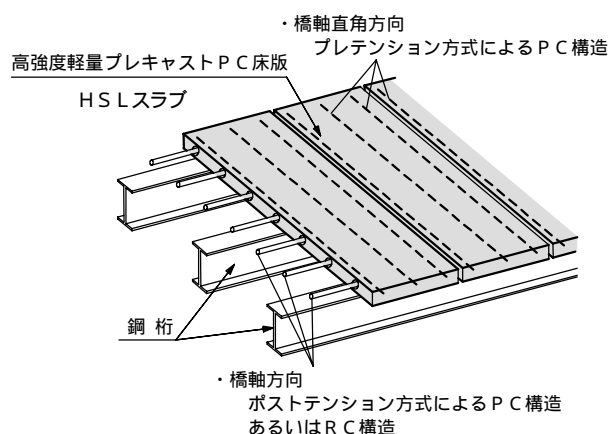


図-1 HSLスラブの基本構造

ること。

塑性変形能：十分な塑性変形能を有していること。

破壊モード：曲げ破壊先行型であること。

b) 凍結融解抵抗性に関する要求性能

凍結融解作用に対して十分な抵抗性を有すること。

c) 疲労耐久性に関する要求性能

普通コンクリート R C 床版以上の疲労耐久性を有すること。

2. 静的曲げ載荷試験¹⁾

(1) 試験概要

曲げ載荷試験装置を図-2 に示す。床版厚は160mm、床版支間は2.0mとし、支点条件は、回転および水平方向の移動を可能とした。荷重載荷は油圧ジャッキを用い、200mm×500mm×22mmの載荷板およびゴム板を介して行った。載荷板の大きさは、輪荷重の大きさを想定して決定した。荷重は10kN毎に載荷し、ひび割れ発生荷重、破壊荷重、破壊モード、コンクリートひずみおよび P C 鋼材ひずみの計測を行った。

(2) 試験結果および考察

a) 破壊モード

H S L スラブは、荷重の増加に伴い下縁コンクリートの引張ひずみが増加し、曲げひび割れが発生した。その後、曲げひび割れ幅およびたわみの増加とともに P C 鋼材ひずみが増加した。破壊モードは、P C 鋼材の降伏後、上縁のコンクリートが圧壊する、曲げ引張破壊であった。

b) 曲げひび割れ発生荷重および曲げ破壊耐力

H S L スラブの曲げひび割れ発生荷重および曲げ破壊荷重の実験値および計算値を表-1 に示す。ここで、表中の曲げひび割れ発生荷重の実験値は、コンクリートのひずみおよび目視によって曲げひび割れが確認された荷重とした。曲げひび割れ発生荷重の計算値は、弾性理論により、曲げひび割れ発生モーメントを支間中央に発生させる載荷荷重として求めたものである。また、曲げ破壊荷重の計算値は、曲げ理論による数値解析を用いて算出した。

表-1に示すとおり、曲げひび割れ発生荷重および曲げ破壊荷重の計算値に対する実験値の比は、0.97~1.12となり、ほぼ一致した結果が得られた。また、実験値における曲げひび割れ発生荷重に対する曲げ破壊荷重の比は約3倍となっている。設計荷重作用時には、H S L スラブは引張応力の発生を許容しないフルプレストレスで設計することとしているため、設計荷重に対する曲げ破壊安全度は3倍以上であると言える。

c) 荷重 - 変位関係

図-3 に荷重 - 変位関係を示す。支間中央での曲げひび割れ発生時のたわみの実測値は3.8mmで、終局状態付近でのたわみの実測値は約22mmであった。これは、H

S L スラブは、設計荷重作用時においては過大なたわみを生じさせないが、終局荷重状態においては十分な変形性能を有することを示している。

3. 凍結融解試験²⁾

(1) 試験概要

H S L スラブの軽量コンクリートには膨張頁岩系の人工軽量粗骨材を使用している。膨張頁岩系の人工軽量骨材は普通骨材に比べて多孔質であるため吸水率が高く、寒冷地ではその骨材内に吸水された水が凍結により膨張するため、凍結融解抵抗性が問題となる可能性がある。この問題を解決するために、H S L スラブに使用する軽量コンクリートには、人工軽量骨材の低含水品（含水率2%以下）を使用し、コンクリートの打込みはバケット

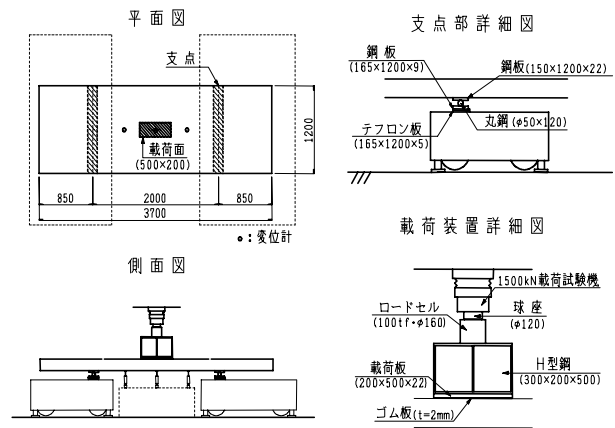


図-2 曲げ載荷試験装置（単位:mm）

表-1 曲げ試験結果と計算値の比較

	実験値	計算値	実験値/計算値
曲げひび割れ発生荷重 P_{cr} (kN)	145.0	149.7	0.97
曲げ破壊荷重 P_u (kN)	420.0	374.2	1.12

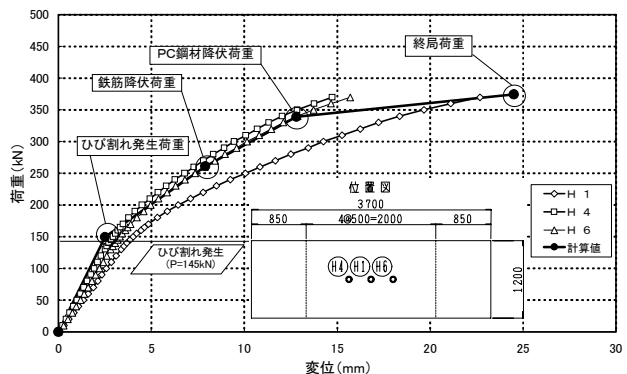


図-3 荷重 - 上縁コンクリートひずみ関係

によって行うこととしたが、凍結融解抵抗性を定量的に把握するに至っていなかった。また、寒冷地では冬季に凍結防止剤が散布されるが、凍結防止剤の成分にはNaClが多く含まれ、高濃度のNaCl水溶液はコンクリートの耐凍結融解性を低下させるとの報告がある³⁾。これらの理由から、塩化物環境下の凍結融解抵抗性を確認することが必要と考えられ、以下の2つの試験を実施した。

a) 凍結融解試験

凍結融解試験はJIS A 1148 (コンクリートの凍結融解試験方法) に準拠した方法で行い、試験方法の種類はA法 (水中凍結融解試験方法) とした。水には真水を使用し、30サイクル毎に相対動弾性係数、質量減少率および供試体表面の状態変化を計測し、300サイクルまで試験を行った。人工軽量骨材の低含水品を使用することの効果を確認するために、プレウェッティングを行った人工軽量骨材 (標準品、含水率26.5%) を使用した供試体による試験を同時に行った。

b) 塩水凍結融解試験

塩水凍結融解試験には真水の代わりに塩水 (NaCl 3% 水溶液) を使用し、その他の試験条件はJIS A 1148に準拠した。普通骨材を使用したコンクリートとの比較を目的として、同条件で普通コンクリート供試体の塩水凍結融解試験を実施した。

(2) 試験結果および考察

a) 凍結融解試験

図4 に相対動弾性係数の計測結果を示す。ここで、計測結果は供試体3体の平均値とした。低含水品を用いた軽量コンクリートの相対動弾性計数は、300サイクル終了時で100%であった。通常品を用いた場合は60サイクル終了時に相対弾性係数が33%となったため、この時点で試験を終了した。この結果から、低含水率の人工軽量骨材を使用した軽量コンクリートは、300サイクルの凍結融解作用後も試験実施前と同等の相対動弾性係数であり、十分な耐凍結融解性を有していると言える。また、一般的に言われているとおり、含水率が高い人工軽量骨材を使用したコンクリートの耐凍結融解性は低いことがわかった。

b) 塩水凍結融解試験

図5 に相対動弾性係数の計測結果 (供試体3体の平均値) を示す。ここで、計測結果は供試体3体の平均値とした。300サイクル終了時の相対動弾性係数は、軽量コンクリート93.3%、普通コンクリート96.3%であった。この結果より、軽量コンクリートは、普通コンクリートと比較すると、相対動弾性係数の低下が若干大きいものの、塩化物環境下 (NaCl 3%溶液中) においても、高い耐凍結融解性を有していると言える。また、前述した通常の凍結融解試験で、300サイクル終了時に、相対動弾性係数100%であったことを考慮すると、塩化物環境下での凍結融解作用によって、劣化が促進されることがわかる

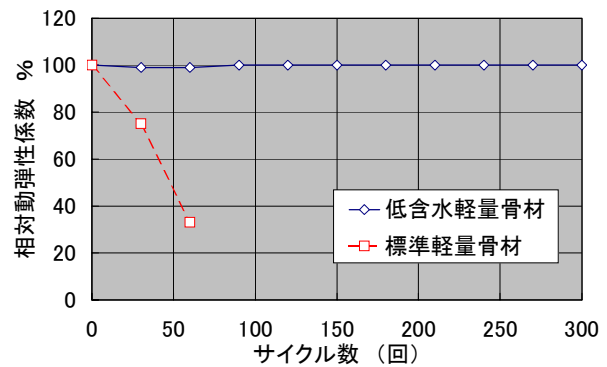


図4 相対動弾性係数の計測結果 (凍結融解試験)

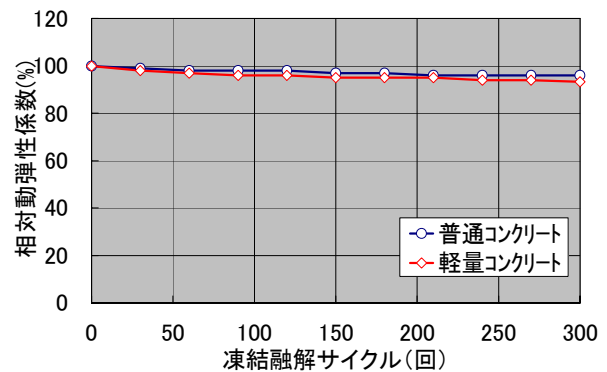


図5 相対動弾性係数の計測結果 (塩水凍結融解試験)

が、プレキャストPC床版への適用に当たって問題のない範囲であった。

4. 疲労耐久性試験⁴⁾

(1) 試験概要

a) 試験供試体

試験供試体は、図6 に示すように橋軸方向4.5m、橋軸直角方向2.8mとし、床版厚を180mm、支間を2.5mとした。コンクリート打込み後、蒸気養生を行い、所定のコンク

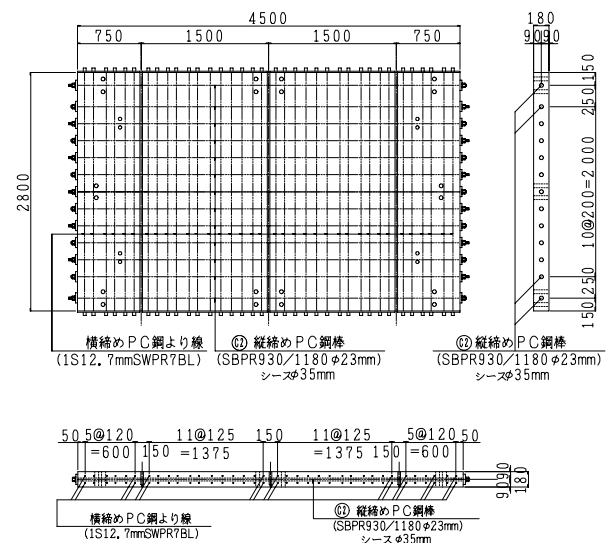


図6 供試体製作図

リート強度を確認した後、材齢2日でプレテンション方式によって橋軸直角方向に所定のプレストレスを導入した。その後、ポストテンション方式で橋軸方向にプレストレスを導入した。

b) 試験供試体の設置

供試体は、橋軸直角方向を回転可能な単純支持、橋軸方向を横桁で支持し、浮き上がりを防止して輪荷重走行試験機に固定した。図-7 に供試体設置状況およびクランク式輪荷重走行試験機を示す。

c) 荷重載荷パターン

所定のコンクリートの圧縮強度発現を確認した後、図-8 に示す階段状荷重漸増載荷を行った。この載荷方法は、国土交通省土木研究所で採用された方法⁵⁾で、初期荷重を157kNとし、4万回走行毎に20kNづつ荷重を増加させるものである。載荷速度は毎分40回とし、載荷は供試体が破壊に至るまで継続した。

(2) 試験結果および考察

目視によるコンクリートのひび割れ発生は、載荷荷重373kN、走行回数48万回で、まず橋軸方向のひび割れが確認された。その後、荷重と走行回数が増加するにつれてひび割れが進展し、載荷荷重471kN、走行回数59.3万回で急激な変位の増加が見られ、押抜きせん断破壊に至った。

図-9 にH S Lスラブの輪荷重走行試験結果と国土交通省土木研究所で行われた平成8年版道路橋示方書によるRC床版³⁾(以下、RC8)との比較を示す。RC8は載荷荷重275kN、走行回数26万回で押抜きせん断破壊したと報告されている。ここで、RC8の床版厚は250mmで、コンクリートの圧縮強度は27.6N/mm²であった。一方、H S Lスラブの床版厚は180mmであるにもかかわらず、図-9 に示されるようにRC8に比べ、破壊時荷重(約1.7倍)および走行回数(約2.3倍)とも大きく上回っている。また、同じ載荷荷重に対する供試体中央位置でのたわみも小さくなっており、RC8より高い剛性を示すことがわかる。H S Lスラブが、RC8に比べて高い疲労耐久性を有する理由として、以下の要因が考えられる。

- ・プレストレスの効果により、ひび割れ発生耐力が大きく、ひび割れの進展が小さいため、RC8より床版剛性が大きくなり、たわみは小さくなる。
- ・高強度コンクリートとしているため、軽量コンクリートによる引張強度やせん断強度の低下を考慮しても、RC8より押抜きせん断耐力が大きくなる。
- ・プレストレスによって、部材内の圧縮領域がRC8に比べて大きくなり、押抜きせん断に対する抵抗面積が大きくなる。
- ・プレストレスにより押抜きせん断破壊面の角度が小さくなり、押抜きせん断抵抗面積が大きくなるため押抜きせん断耐力が向上する。

3. 実施工への適用事例

(1) 片側交通開放を伴う床版取替え⁶⁾

a) 工事概要

本事例では、設計活荷重TL-20からB活荷重へのグレードアップと、既設鋼主桁の応力負担増加の軽減を目的としてH S Lスラブが採用された。近隣の交通事情から

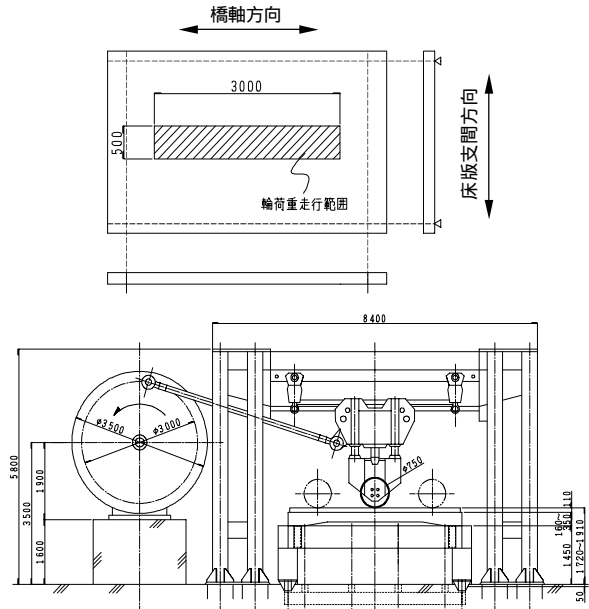


図-7 クランク式輪荷重走行試験機

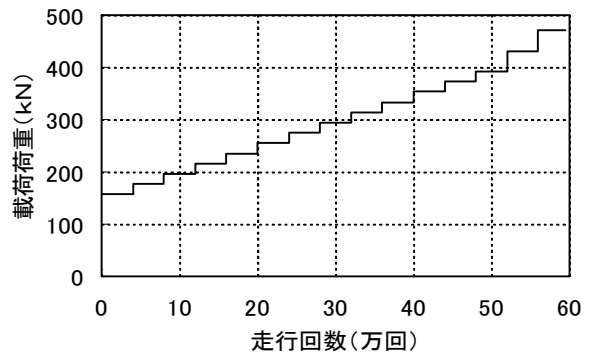


図-8 階段状荷重漸増荷重パターン

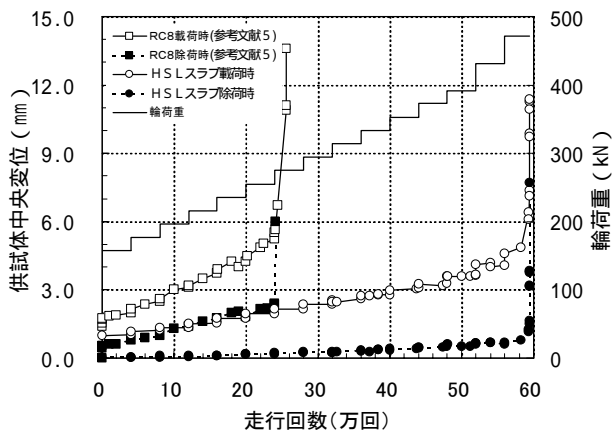


図-9 試験結果のRC床版との比較

片側一車線の交互通行により交通を確保しながら床版の取替えが行う分割施工が要求された。

b) 床版の分割

本橋は平面線形R=80m、横断勾配6%の厳しい道路線形を有している。片側一車線の交通を確保しての施工であったため、車両の通行軌跡を考慮して橋軸方向の分割位置を決定した。また、全体の30%を場所打ち床版とすることにより平面線形に対応した。図-10 に床版取替えのパネル割りを、図-11 に断面図を示す。ここで、分割施工により生じる橋軸方向の接合部は、RC構造として設計し、更に付加的にプレストレスを導入することにより耐久性の向上を図った。

c) 施工概要

施工手順を図-12 に示す。施工は、期施工の間に一時的に生じる期施工側の既設床版の張出し部に補助桁を設置することから始まり、舗装・壁高欄を撤去、既設床版を切断し、25tラフタークレーンにより既設床版の撤去およびH S Lスラブの架設を行った(図-13)。床版の架設後、床版間の目地部、ジベル孔、床版下面と鋼主桁の間に無収縮モルタルを充填し、場所打ち床版部の施工を行った後に橋軸方向P C鋼材を緊張し、H S Lスラブを一体化した。その後、橋面工、通行車線の切り替えを行い、同様の作業で期施工側のH S Lスラブを取替えた後、橋軸方向の接合部を施工して橋軸直角方向を一体化した。これにより、片側一車線の交通を確保した状態での、片車線13枚計26枚のH S Lスラブによる床版取替え工事を完了した。

(2) 工事時間外交通開放を伴う合成桁の床版取替え⁷⁾

a) 工事概要

本橋は供用後約36年が経過しており、この間の交通量の増加や車両の大型化により床版コンクリートの劣化が著しく、床版の取替えが必要と判断された。近隣に大型車が迂回できる橋梁がなかったため、午前6時から午後8時までは全面交通開放して行う必要があった。このため、工事時間外の交通開放が可能で、TL-I4からA活荷重へのグレードアップ、拡幅による機能向上などによる主桁の応力増加負担の軽減が図れるH S Lスラブによる床版取替え工法が採用された。

b) 交通解放時の構造安全性の確保

工事時間外の交通開放時には架設済みの新設床版と既設床版の間に床版のない区間が存在する。本橋の鋼桁は活荷重合成桁構造で設計されていたが、この床版の無い区間は一時的な非合成状態となり、鋼桁の安全性を確保する必要があった。非合成状態では上フランジの座屈が懸念されたため、図-13、図-14 に示すとおり、新設床版と既設床版の間にジャッキにより軸力を導入し、上フランジに事前に引張応力を与え、かつ、活荷重載荷時に発生する床版の圧縮力を伝達することにより、安全性を確保した。

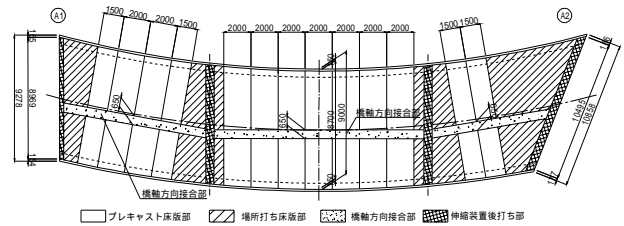


図-10 パネル割り

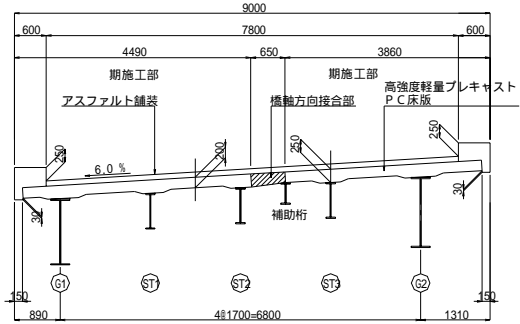


図-11 断面図

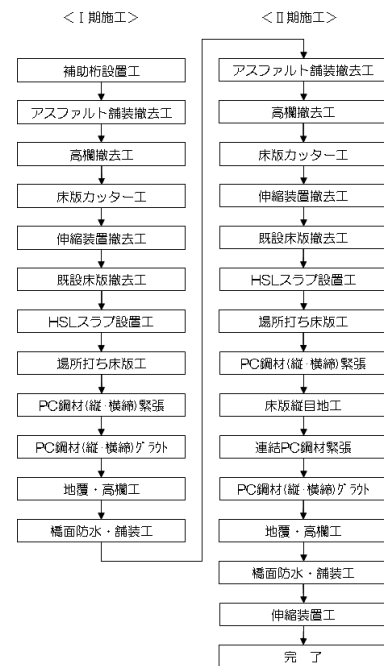


図-12 施工手順



図-13 H S Lスラブ架設状況

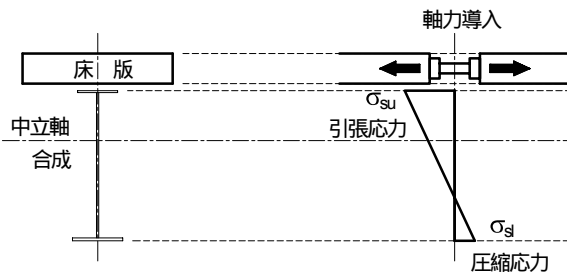


図-13 軸力導入による発生応力図

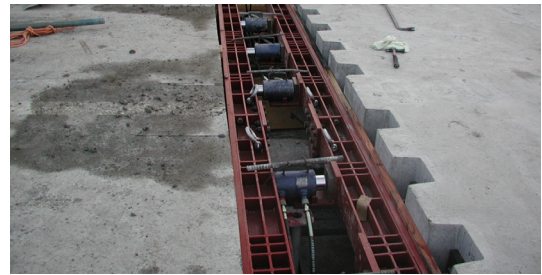


図-14 軸力導入状況

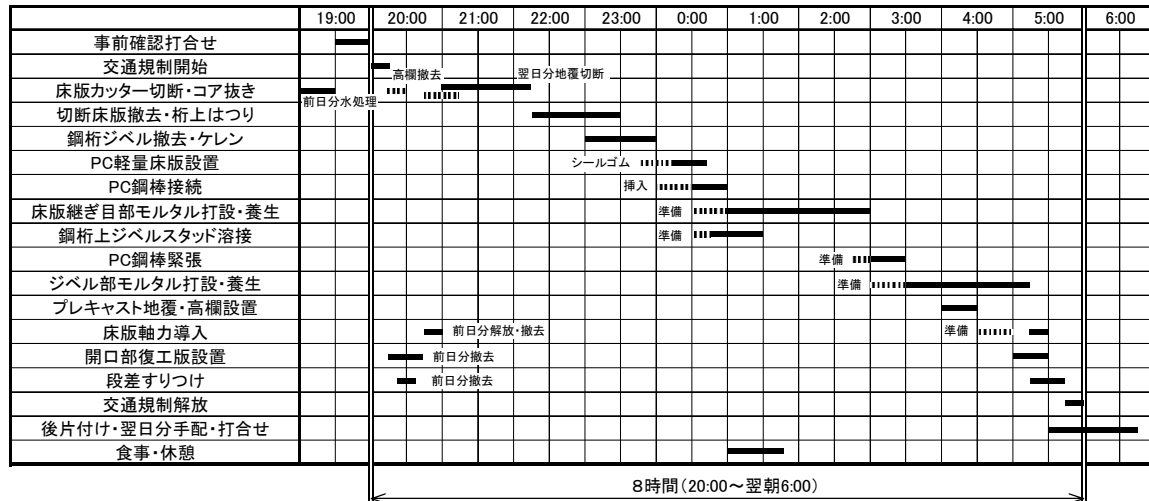


図-15 日施工サイクル

c) 施工概要

本工事は、昼間全面交通開放を行うため、夜間作業により1日当たり2枚の床版取替えを行った。図-15に1日の施工サイクルを示す。

施工は、交通規制開始して前日に床版間に導入した軸力を解放することから始まり、壁高欄や既設床版の切断・撤去後、はつり・鋼桁ジベル撤去・ケレンにより鋼主桁上面を平滑にする。その後、H S Lスラブを架設・橋軸方向PC鋼棒を接続、間詰め部に無収縮モルタルを充填し、養生する間にジベルの養植を行う。無収縮モルタルの強度発現後、PC鋼棒を緊張して前日までに架設したH S Lスラブと一体化し、ジベル孔および床版と鋼主桁の間に無収縮モルタルの充填を行う。その後、無収縮モルタルを養生する間に、プレキャスト地覆・壁高欄を設置、新設・既設床版間の軸力の導入、開口部への復工版の敷設および段差摺り付けを行い、強度発現後、交通開放を行った。

以上のように、昼間は全面交通開放、夜間は全面通行止めして行ったH S Lスラブ272枚を用いた床版取替え工事により、床版の補修・補強、A活荷重対応および拡幅工事を完了した。

4. おわりに

現在、特に東日本の寒冷地において、床版の劣化に起

因する床版取替え工事が多く実施されており、近い将来、近畿地区においても同様な状況となる可能性は高い。本稿が、今後の床版取替え工事の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 中村，深山，山崎：高強度軽量コンクリートを用いたプレキャストPC床版に関する研究，第2回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.101-106，2000.10
- 2) 中村，山下，小野辺，黒澤：高強度軽量プレキャストPC床版に使用する軽量コンクリートの耐凍結融解性，第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.169-172，2003.11
- 3) 板橋，三浦：コンクリートの凍害に及ぼす凍結防止剤の影響：コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.1，pp.555-560，1994
- 4) 中村，深山，小野辺，山下：高強度軽量プレキャストPC床版の疲労耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.571-576，2002
- 5) 国土交通省土木研究所：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その5)，2001
- 6) 仲住，渡辺，吉原，小林：高強度軽量プレキャストPC床版接合部における連結鋼材のPCグラウトの施工，第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.471-474，2006.10
- 7) 澤，加藤，古屋，入江：高強度軽量プレキャストPC床版を用いた単純活荷重合成桁の床版取換工事報告，第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.121-124，2006.10