

底鋼板の補強鋼材を全廃した合成床版の実用化に関する実験的研究

Experimental Study on Development of Composite Slab with Stiffener-less Steel Form

田村 一美*、増田 伊知郎**、中出 収**、濱田 純夫***、松井 繁之****

* 三菱重工業(株)広島研究所 鉄構土木研究室 (〒730-8642 広島市中区江波沖町 5-1)

** 三菱重工業(株)広島製作所 鉄構技術部橋梁技術課 (〒730-8642 広島市中区江波沖町 5-1)

*** 山口大学工学部社会建設工学科 教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

**** 大阪大学大学院 工学研究科土木工学専攻 教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

A new type of composite slab for the bridge has been studied. It is composed of stiffener-less steel form and prefabrication concrete ribs in the shop, which work against the dead load at the time it construction. The authors discussed how to make an economical deck and stiffeners of concrete, how to arrange studs, and how to cast the precast stiffeners. Then the durability of the deck was confirmed by three types of wheel running machine tests in Yamaguchi University, Osaka University and Public Works Research Institute.

Key Words: composite slab, concrete ribs, Stiffener-less Steel Form, Wheel Running machine

1. はじめに

鋼とコンクリートとをずれ止めを用いて力学的に合成した橋梁用の合成床版は、PC床版と同程度またはそれ以上の耐久性を有することが実験的研究により明らかにされてきている。最近では、橋梁主構造(主桁)の合理化に伴い採用例も増加の傾向にある。合成床版の大きな特徴として、鋼板との合成効果により高い強度を有しておりRC床版に比べ床版厚を薄くできること(死荷重軽減)、現場において底鋼板が型枠として利用できるために施工の合理化がはかれることが挙げられる。加えて合成構造として高い耐久性を有していることなど、多くの利点を持っている。構造的には、支保工に代わるコンクリート打設時の死荷重を支持するために底鋼板に多数の補強リブ等の補剛材料が配されている構造が多く、合成作用はスタッドジベルや穴明けプレートによるものなどがあり、各種の合成床版が製品化されている。

今回、筆者らは全く新しい合成床版として、工場にて床版コンクリートの一部を先打ちしたコンクリート梁(鋼板・コンクリート合成梁)に架設時の死荷重を受け持たせることにより、底鋼板の補強リブを全廃した合理的な合成床版(鋼リプレス合成床版)を考案した。本形式には、床版コンクリートの連続性の確保、耐ひび割れ性の向上、任意形状への対応が可能などの特徴があり、合成床版の適用範囲を広げることができる。

本論文では、実用化に向けた実物大の製作施工実験による製作性検証結果、および輪荷重走行試験による疲労耐久性の検証結果について報告する。また、連続合成桁への適用を視野に入れた負曲げ領域下の輪荷重走行試

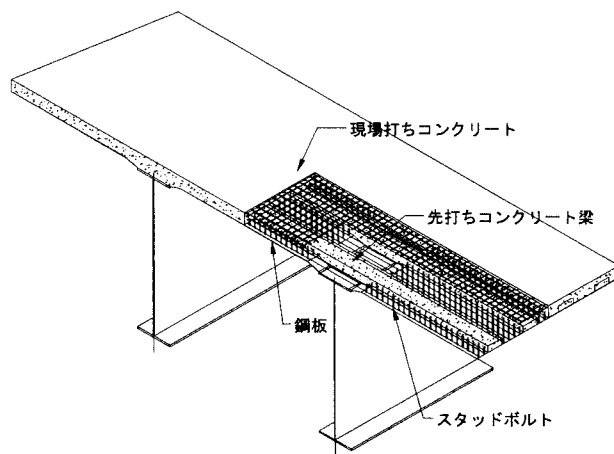


図1 鋼リプレス合成床版構造概要

験結果についても報告する。

2. 鋼リプレス合成床版の概要

鋼リプレス合成床版は完成後にはスタッドジベルで合成された単純なロビンソン床版である。図1に示す様に、コンクリートの一部を工場にて梁状に先打ちし(先打ちコンクリート梁と称す)、現地へ運搬・桁上へ架設後、残りのコンクリートを打設(現場打ちコンクリートと称す)するものである。図2に示すように従来構造の合成床版と比較して、鋼製の補強リブを全廃した構造となっている。先打ちコンクリート梁は底鋼板及びスタッドとともに、鋼・コンクリート合成構造の梁を形成し、架設時の死荷重に抵抗する。鋼リプレス合成床版の施工手順は3. 実物大模型施工試験を参照されたい。

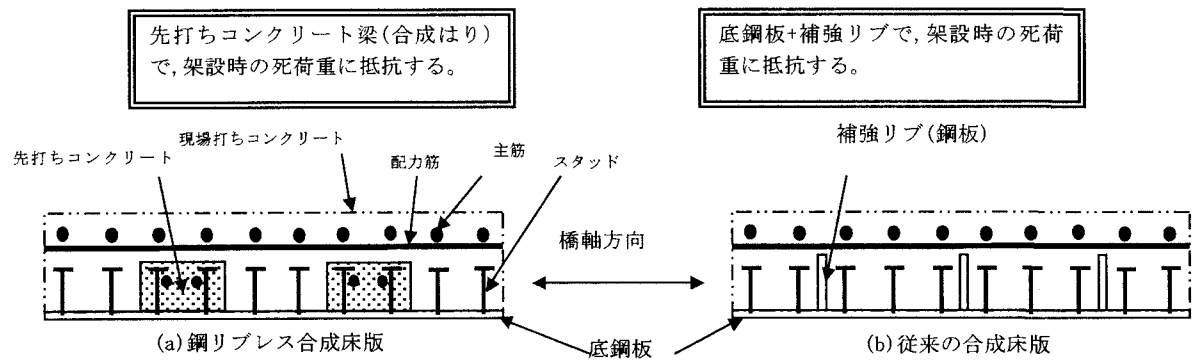


図2. 鋼リブレス合成床版と従来の合成床版との構造比較

鋼リブレス合成床版の特徴を次に示す。

- (1) 床版死荷重を先打ちコンクリート梁に負担させるため、鋼リブが不要となるとともに、鋼板へのリブ溶接作業が不要となる。
- (2) 床版コンクリート施工用の足場、型枠支保工が不要である。
- (3) 底鋼板が床版下側の鉄筋の役目をするため、上側鉄筋のみ配すればよく、現地の配筋作業を低減でき工程短縮が可能である。
- (4) 先打ちコンクリート梁打設時は底鋼板が無補剛状態のため架台等で任意の横断形状にすることができる。
- (5) 設計基準強度 $40\text{N}/\text{mm}^2$ のコンクリートを用いており、耐荷力が高く、塩害や中性化に対する耐久性が高い。
- (6) 先打ちコンクリート梁を工場にて打設するため運搬重量・架設重量が大きくなる欠点がある。

3. 実物大模型施工試験

3.1 目的および想定橋梁断面

鋼リブレス合成床版は、工場製作段階では無補剛の鋼板上にコンクリートを打設するため、施工時の形状管理ならびに精度管理手法を確認することを目的として、実物大の模型を製作し施工・管理方法の検証を実施した。想定した橋梁形状は図3に示す「開断面箱桁」である。合成床版のパネルは、 $2.0\text{ m} \times 10.1\text{ m}$ を2パネル製作した。

3.2 試験方法および確認事項

施工試験は橋梁製作時に使用する一般的な設備を使用することとし、製作手順・ハンドリング性能・精度管理などを確認した。主な確認事項を以下に示す。

- (1) 各製作段階の所要時間
- (2) 運搬性能（無補剛時および先打ちコンクリート梁打設後）
- (3) 形状・品質管理
- (4) 現場コンクリート打設時のたわみ

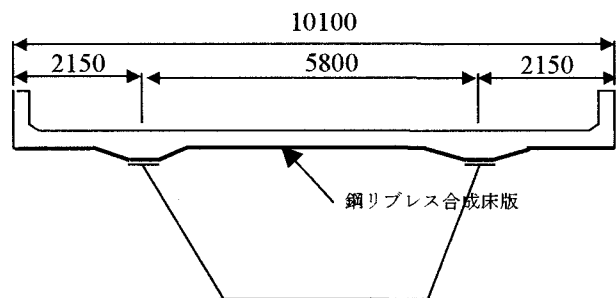


図3. 対象橋梁(断面)

3.3 施工手順

鋼リブレス合成床版の製作・施工手順を図4の写真に示す。まず板パネルを曲げ加工後、高さ管理された架台上に設置する(写真①)。次にスタッドジベル施工・型枠設置(写真②)、先打ちコンクリート梁を打設する(写真③)。養生後この状態で吊上げ・運搬を行い(写真④)、現地にての主桁上へ架設する。その後、パネル同士を接合し、上面の主筋および配筋を配筋し(写真⑤)、現場打ちコンクリートを打設(写真⑥)する。

3.4 試験結果

先打ちコンクリート梁打設までの工程では、極短時間、かつ高精度に製作可能であることが確認できた。また、主桁上への運搬は、写真④に示す4点吊りが十分可能なことを確認した。形状管理については、現場打ちコンクリート打設時のたわみは、支間中央で 1.8 mm (許容値： $L/500=5800/500=11.6\text{ mm}$)、張出部先端で 0.6 mm (許容値： $2150/500=4.3\text{ mm}$) と許容値内に十分納まっており、精度を確認できたと共に、先打ちコンクリート梁が十分な剛性を有していることが検証できた。

4. 輪荷重走行試験

4.1 縮尺模型による輪荷重走行試験

4.1.1 試験体

鋼リブレス合成床版の実荷重下における疲労耐久性の検証を目的として、縮尺模型を用いた輪荷重

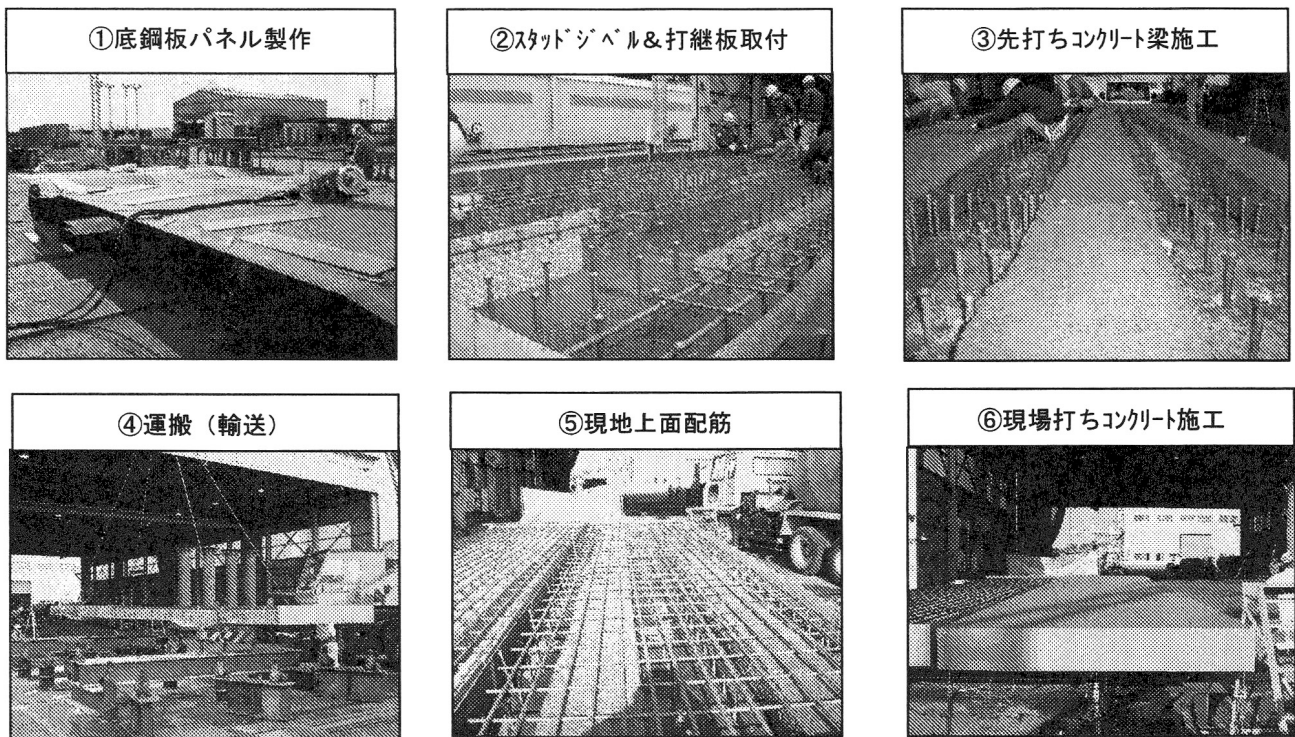


図4 製作施工手順

走行試験を実施した。対象とした合成床版は実機で床版厚 30cm、床版支間 6m の単純支持版として設計を行った。試験体は実機の 1/2 の縮尺とし、図 5 に示す様に、幅 3.3m×長さ 4.3m×厚さ 15cm、床版支間 3m とし、全体を 4 分割(4 ユニット)して 3 つの継手を設けた。継手の構造はユニット 1 & 2 及びユニット 3 & 4 間が重ね継手、ユニット 2 & 3 間が高力ボルト接合とした(図 5)。橋軸方向縁端部の両端については連続性を考慮し、弾性支持とした。

4.1.2 載荷方法及び載荷荷重

試験は山口大学所有の輪荷重走行試験機を使用して行った。走行範囲は試験体中央を中心とし、±1.8m(幅 50cm)の振幅とした。載荷荷重は次のように決定した。

RC 床版の疲労強度は押し抜きせん断耐力に依存することから、実機に対する縮尺模型の疲労強度は単なる寸法比率で決まるのではなく、押し抜きせん断耐力により決定される。RC 床版のせん断耐力 P_{sx} を計算すると表 1 のようになる。これより、実機に対する試験体のせん断耐力は約 1/3 となる。

一方、床版破壊の大きな要因となる過積載車両の輪荷重は、最大 294kN(30tf)程度と推定される。その走行頻度を 2 回/日と仮定すると 1 回の走行につき後輪×2 として、100 年で約 15 万回となる。以上のことを踏まえ、載荷荷重は若干の余裕を見込み、147kN(=294kN/3×1.5)と

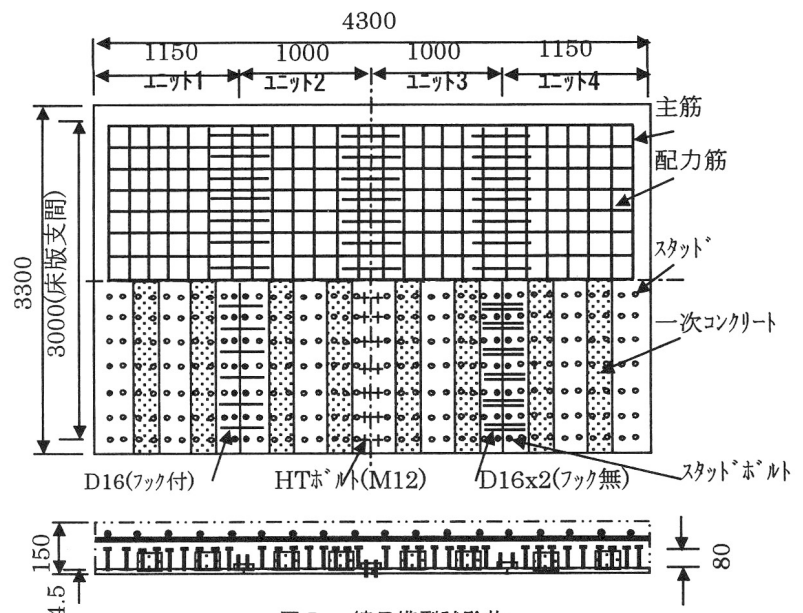


図5 縮尺模型試験体

表 1.せん断耐力の比較

		P_{sx} (kN)	実/模
一般部	実機	1944.7	2.927
	模型	664.5	
継手部	実機	1763.0	2.954
	模型	596.8	

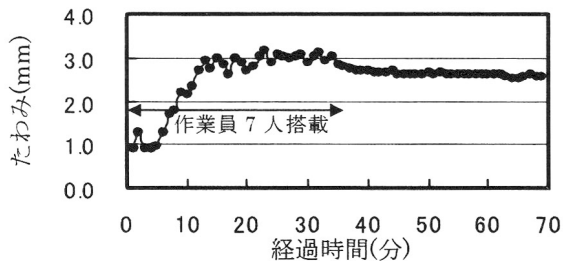


図 6. 現場打ちコンクリート打設時のたわみ

し、最大 22 万回(約 150 年相当)を目標として走行試験を行った。

4.1.3 試験結果

(1) 現場打ちコンクリート打設時のたわみ

図 6 に現場打ちコンクリート打設時の床版中央たわみを示す。最終的な死荷重たわみは約 2.6mm となった。 δ/L (支間)=1/1150 となり、底鋼板と先打ちコンクリート梁からなる合成梁は十分な剛性を有していることが確認された。

(2) ひび割れ状況

22 万回走行後もひび割れの発生はみられず、本試験体は破壊することはなかった。引き続き実施した床版表面に水を張った状態の走行試験(8 万回)後も同様に全く健全なままであった。

(3) 床版変位と走行回数との関係

図 7 は、各走行終了後に実施した静的載荷試験(載荷荷重:147kN、載荷位置:床版中央)の結果を示したものである。ひび割れが発生していないため剛性の低下はほとんどみられず非常に良好な結果となった。

(4) 継手部の性状

各継手部の目視観察を行ったが床版変位と同様に、変化は全くみられなかった。

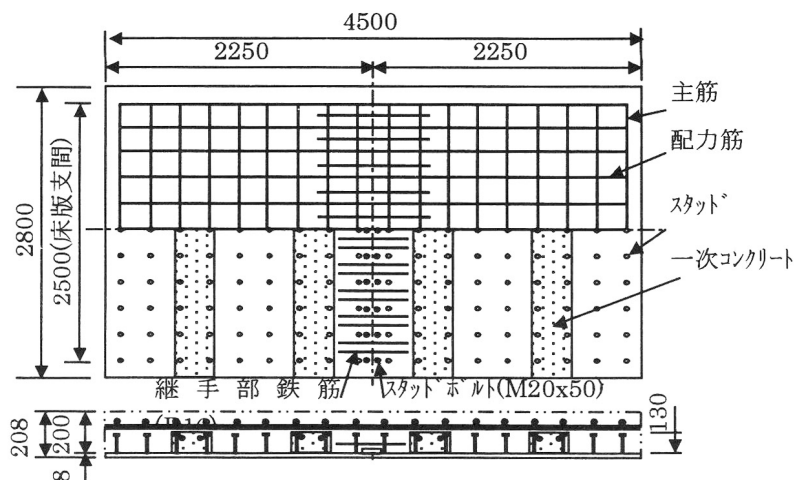


図 8. 実物大模型試験体

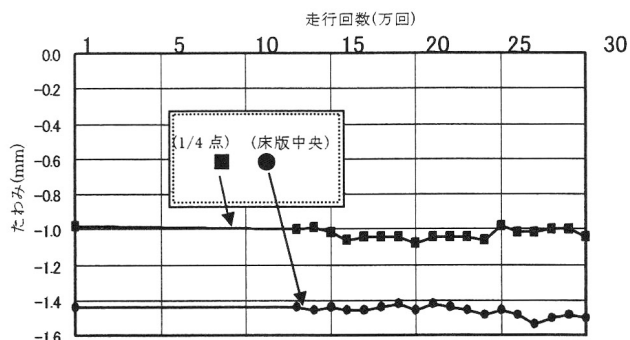


図 7. 走行回数と床版のたわみの関係

4.2 実物大模型の輪荷重走行試験

4.2.1 試験の目的および試験体

鋼リブレス合成床版の各部位における終局状態を確認するため、文献 2) に示される一般的な床版耐久性評価実験法により、疲労耐久性試験を行った。模型は図 8 に示す様に、幅 2.8m×長さ 4.5m×厚さ 208mm とし、支間中央部に継手を設けた。床版支間長は 2.5m とした。

4.2.2 載荷方法

試験は土木研究所の輪荷重走行試験機を用いて行い、支間 2.5m で相対する 2 辺を単純支持し、残りの 2 辺は版の連続性を考慮して弾性支持とした。輪荷重は床版の支間中央部に 20cm×50cm の載荷ブロックを橋軸方向に並べ、その上に厚さ 16mm の鋼板を置き、その上に試験体中央部から±1.5m の範囲で輪荷重を移動載荷した。載荷方法は 157kN から 4 万回毎に 19.6kN ずつ増加させ、392kN で 52 万回まで載荷する土木研究所提案の階段状荷重漸増載荷とした。図 9 に状況写真を示す。

4.2.3 試験結果

(1) ひび割れ状況

最終的な 52 万回走行によっても、本試験体は破壊することはなかった。最終的なひび割れ状況を図 10 に示す。一般に、底鋼板補強のための補強リブを使用したロビン

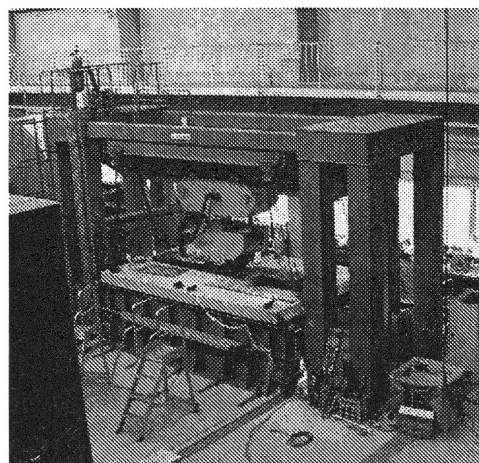
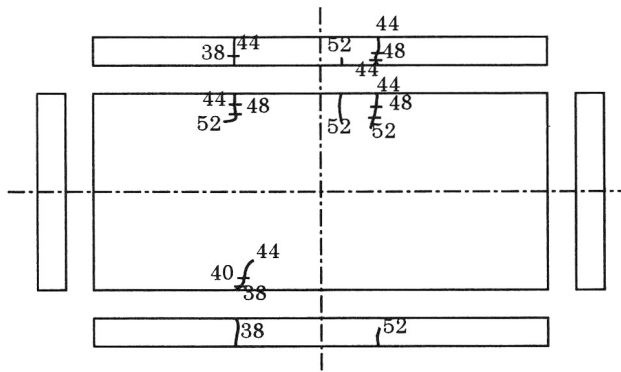


図 9. 試験状況写真



注)数字はひび割れの発生した载荷回数(万回)を示す。

図 10. ひび割れ図

ソソ床版は、鋼リブの影響により、走行の極初期にひび割れが発生することが知られている²⁾が、本試験体は走行終盤の38万回時点て初ひび割れを生じた。これは、鋼リブを使用していないために、等方性版挙動を示していることに加え、鋼リブが引き金となるひび割れを発生しないことが大きな要因として考えられる。

(2) 床版変位と走行回数の関係

図 11 は、各荷重段階終了後の試験体中央の静的変位を示したものである。ひび割れの発生荷重が38万回と遅かったこと、ひび割れ発生量が非常に少ないこと等により剛性の低下はほとんどなく非常に良好な結果となった。なお、文献²⁾によれば、本試験体と同サイズのPRC50床版では最終変位が約6mmにも達しており、それ以上の耐久性を有していることが確認された。

(3) 底鋼板開閉量と走行回数の関係

上述の床版変位と同時に静的に計測した底鋼板継手部の開閉量(橋軸方向)の計測結果を図 12 に示す。走行終盤に約0.1mmの開閉量となったが、床版変位と同様、大きな変化はみられなかった。

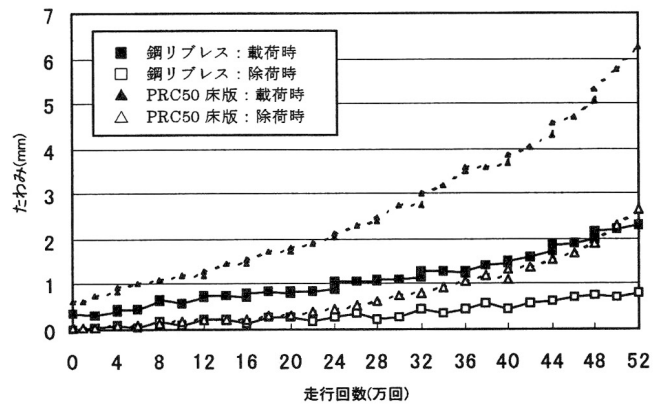


図 11. 床版中央変位

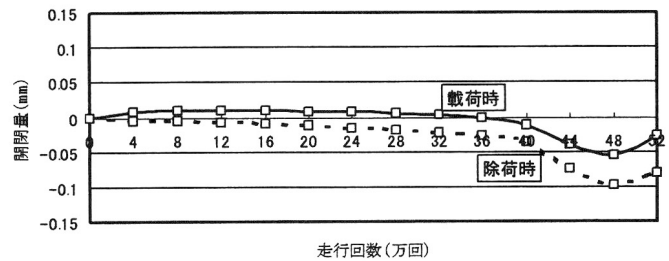


図 12. 底鋼板開閉量

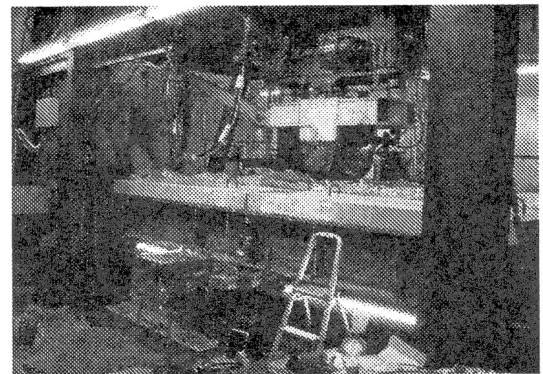


図 13 負曲げ領域下の輪荷重走行試

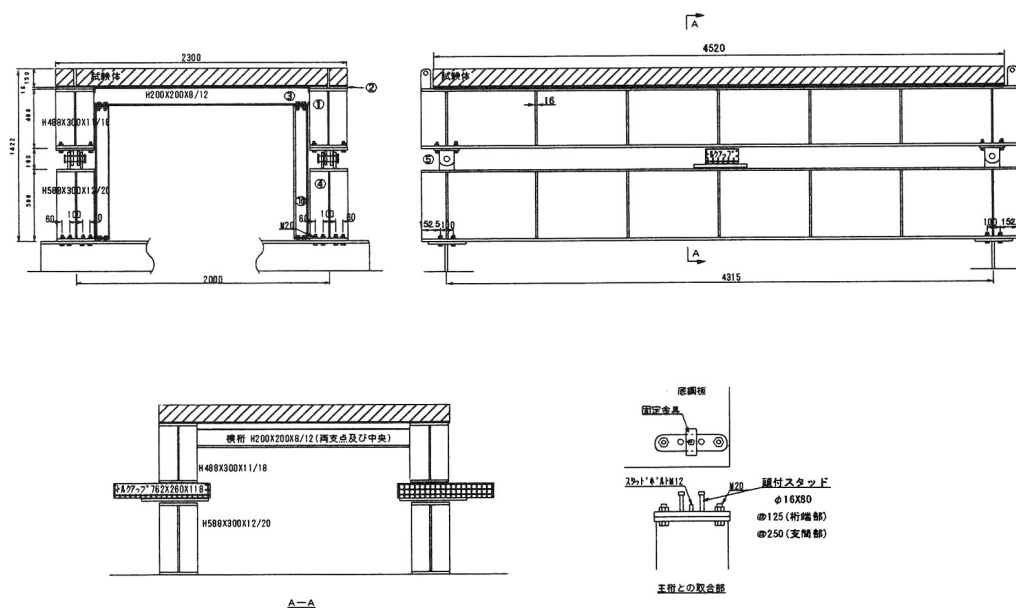


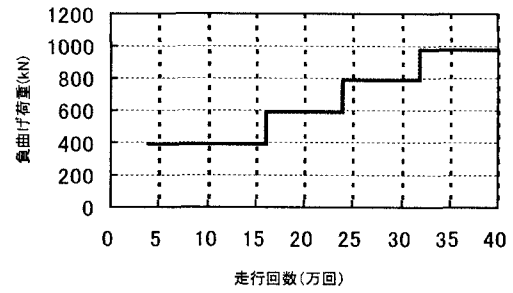
図 14 負曲げ領域化の輪荷重走行試験装置

4. 3 負曲げ領域下における輪荷重走行試験

4.3.1 試験目的および試験体

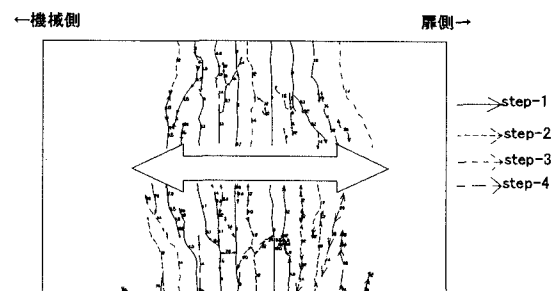
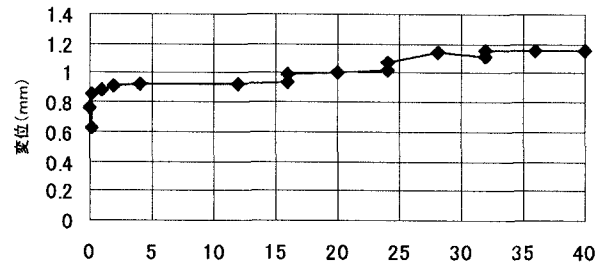
床版が主桁作用を負担する連続合成桁を対象として、床版が最も厳しい状態と思われる中間支点上に着目し、主桁作用および床版作用を組み合わせさせた荷重状態でその耐久性を確認することを目的で疲労試験を行った。

試験体は、幅 2.3m×長さ 4.8m×厚さ 154.5mm とし、支間中央部に継手を設けた。床版支間長は 2.0m とした。試験は、大阪大学所有の輪荷重走行試験機を使用した。図 13 に試験状況写真を示す。



4.3.2 荷重方法

図 14 に荷重装置を示す。橋軸方向 4.5m で両端をピンにて単純支持し、支間中央位置においてジャッキアップすることにより負曲げモーメントを与える。この状態で、輪荷重の走行を行い、耐久性を確認した。ジャッキアップ荷重は、設計計算上の照査荷重組み合わせ「0.6 L+T」(L:主桁作用としての活荷重、T:版作用としての活荷重)を想定し、0.6 L 荷重に相当する負曲げモーメントとなるジャッキアップ荷重 392kN を初期値とし、ひび割れ制御設計におけるひび割れ許容値 (0.035C : C は純かぶり) 2 倍程度となる負曲げモーメントとなる 980kN まで 3 段階にステップアップさせた。輪荷重は、実橋での過積載車両の実測値最大 294kN (30tf 程度) の片側載荷状態を想定し、衝撃荷重相当を加味し 176.4kN (=294kN/2×1.20) とした。走行回数は、走行頻度を 2 回/日と仮定し 1 回の走行につき後輪×2 軸として 100 年で約 14.6 万回となる。若干の余裕を見込み 16 万回をベースとし、以降最大 40 万回を目標として走行試験を行った。



4.3.3 試験結果

(1) 床版変位と走行回数との関係

図 16 に静的な床版中央の変位を示す。負曲げ荷重の増加に従い変位も増加しているが、各ステップにおいて著しい変位増大は見られない。これは、ジャッキアップ荷重により床版にひび割れが生じ、相対的に曲げ剛性が暫減しているため変位が増加するものの、せん断力の伝達機能は保持しており、輪荷重による繰り返し載荷のよってもこの機能の低下がないもと考えられる。

(2) ひび割れ状況

図 17 にひび割れ状況を示す。0.6 L の載荷状態で約 0.1mm 幅のひび割れが発生した。輪荷重の走行により若干の進展はあるものの、大半はジャッキアップ荷重の増加に伴いひび割れが増加している。各々 0.2mm 程度のひび割れ幅であり、ほぼ主鉄筋ピッチで密にひび割れており、ひび割れ分散性が非常に良好であり、コンクリート構造物のひび割れ制御設計が適用可能な状態であった。

6. まとめ

(1) 鋼リブレス合成床版はスタッド以外の溶接は全く

なく、合理的にパネル製作を実施できることが明らかとなった。

- (2) 鋼リブを全廃した鋼リブレス合成床版は、従来の底鋼板補強のための鋼リブを使用した合成床版相当の優れた疲労耐久性を示すことが明らかとなった。
- (3) 負曲げ領域化においてもひび割れ分散性が良く、実荷重のレベルの走行試験でも耐力保持できるとことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 松井繁之、移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学年次論文報告集、9-2、1987
- 2) 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報告書、平成 11 年 3 月