

# 鋼・コンクリート合成床版 (QS Slab) の開発研究 (その2)

## Development of a Steel / Concrete Composite Slab (QS Slab) : (Part 2)

佐藤 徹\*<sup>1</sup> 能登 宥 愿\*<sup>2</sup> 山下 久 生\*<sup>3</sup> 岩下 宏\*<sup>3</sup>  
Toru SATO Hiroyoshi NOTO Hisao YAMASHITA Hiroshi IWASHITA

### Summary

In order to save the construction costs, bridge slabs should be coped with the extending the span length of the slab, higher loading capacity and more fatigue durability. Steel/concrete composite slabs are useful for these objectives and the cases of using such slabs in the bridge construction are increasing. The “QS Slab” developed by Miyaji Iron Works is applied to some actual bridges and now under construction at the sites.

Although the fatigue durability of a bridge slab requires the evaluation by wheel running test, durability should be evaluated uniformly under the unified conditions. Therefore, a wheel running test was performed using a test facility in the Public Works Research Institute. This report describes the durability evaluation along with results of wheel running test that conducted at PWRI

キーワード：合成床版，輪荷重走行試験，疲労耐久性

## 1. はじめに

鋼橋における建設コスト縮減要求に応えるため、橋梁構造および施工の合理化が検討され、少数主桁橋をはじめとする合理化形式が多く適用されてきている。橋梁床版もまた、合理化橋梁形式への対応に伴い、床版支間の長支間化、高耐荷力・耐久性が求められている。これらを満足する新形式床版として鋼・コンクリート合成床版が注目され、実橋へ適用される事例も増加してきている。当社が開発した“QS Slab”もまた、実工事へ採用され、現在は現場施工が行われている状況となっている。

前報<sup>1)</sup>ではQS Slabの構造特性、および疲労耐久性確認のために実施した、輪荷重走行試験（於：石川島播磨重工業(株)試験研究所）の結果について報告を行った。橋梁床版の耐久性は、輪荷重走行試験機を用いた評価手法がほぼ確立されており<sup>2)</sup>、試験結果は統一された条件で一律に評価することが望ましいと考えられている。

今回、独立行政法人土木研究所の所有する試験装置を使用する機会が得られたため、QS Slabの実橋への適用に際し、改めて輪荷重走行試験を実施した。本稿では土木研究所で実施した輪荷重走行試験に関して、試験結果の概要と耐久性の評価について報告する。

## 2. 試験概要

### (1) 試験装置

輪荷重走行試験機は、実際の輪荷重の走行を再現するため、床版に車輪による荷重を負荷させた状態で載荷位置を移動させるものである。輪荷重の走行は、フライホイール（円板）の回転力を輪荷重の往復運動に変換することによって行っている。図-1に試験機の外観図を、表-1に試験機の主要諸元を示す。

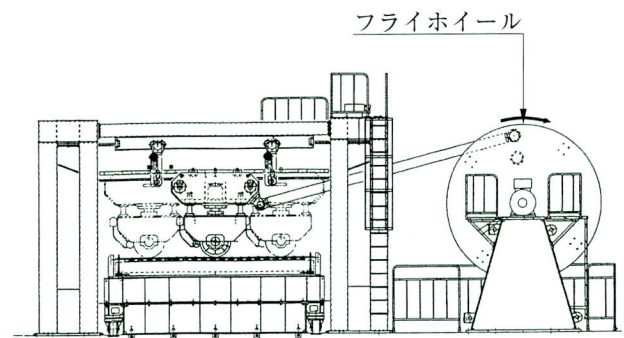


図-1 輪荷重走行試験装置

\*技術本部技術開発部技術開発課課長

\*技術本部技術開発部部長

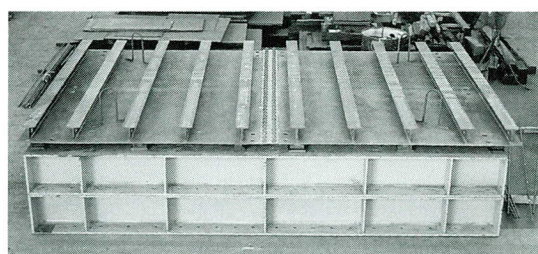
\*技術本部技術開発部技術開発課

表-1 輪荷重走行試験機の主要諸元

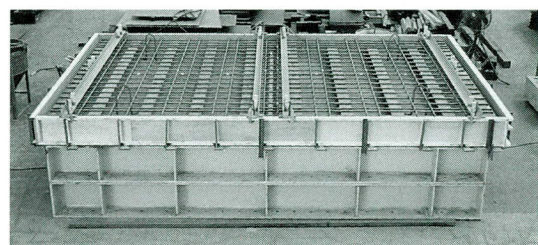
項目		仕様	
形状・寸法	試験機寸法	フレーム：高さ約5 m×長さ約8 m フライホイール：直径3.5 m, 重さ98 kN	
	供試体最大寸法	幅3.0 m×長さ4.5 m×厚さ0.35 m (床版) 治具の取り替えにより桁部を含めた実験も可能	
	車輪の種類	鉄輪：直径700 mm×幅300 mm 鉄輪：直径700 mm×幅500 mm ゴムタイヤ：9.00-R20-14PR相当 (ダブル)	
性能	駆動	走行範囲	±0.5/±1.0/±1.25/±1.5 m
		最大回転速度	59.8/42.3/37.8/34.7 rpm
	載荷	最大載荷力	走行時：490 kN 停止時：981 kN
		最大載荷ストローク	200 mm
その他	設置台数	2基：1号機 (レッド), 2号機 (イエロー)	
	設置場所	独立行政法人土木研究所 構造力学実験施設	

(2) 試験供試体

供試体は床版支間3.0mの連続版としてB活荷重に対する設計を行うが、試験装置の都合により単純支持となる。このため、連続版の支間中央の曲げモーメントが実橋と試験で同様になる支間2.5mで単純支持し、供試体の寸法は橋軸方向4.5m、橋軸直角方向2.8m (支間2.5m) とした。なお、供試体の設計には舗装厚さ10cm、および1方向当たり大型車の計画交通量2000台/日以上を考慮している。供試体の形状・寸法を写真-1および図-2に示す。

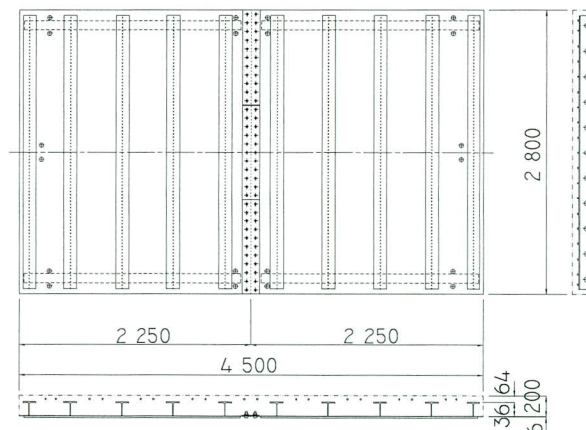


(a) 鋼製パネル

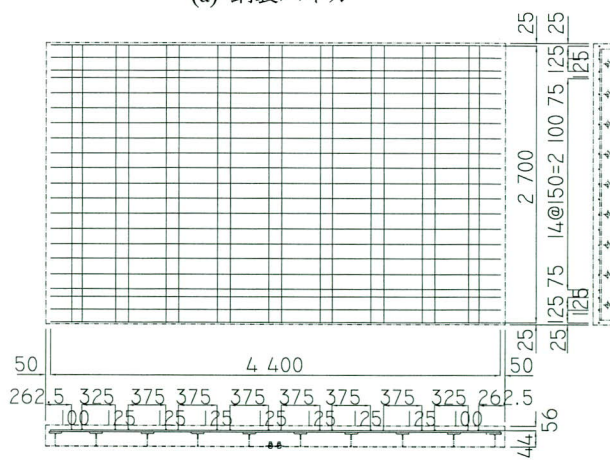


(b) 鉄筋組立後

写真-1 供試体の形状



(a) 鋼製パネル



(b) 鉄筋配置

図-2 供試体の寸法



### (3) 載荷方法

階段状漸増載荷として、以下の要領で試験を行った。

#### ①STEP-1

輪荷重走行試験に先立ち、弾性範囲内での静的載荷試験を行う。その後、0～157kN（16tf）まで19.6kN（2tf）刻みに荷重を増加させ、各々計測を行う。

#### ②STEP-2

荷重を除荷した状態と157kN載荷した状態で各々計測を行う。

#### ③STEP-3

157kNの荷重で移動載荷を開始する。100、1000、5000、1万、2万、4万回載荷後走行を停止させ、157kN載荷状態と荷重を除荷した状態とで各々計測を行う。

#### ④STEP-4

4万回載荷後荷重を19.6kN増加させ、計測した後移動載荷を開始する。2万回、4万回載荷後走行を停止させ、載荷状態と除荷した状態で各々計測を行う。

#### ⑤STEP-5

Step-4以降、4万回載荷毎に荷重を19.6kNずつ増加させStep-4の手順を繰り返す。試験は床版の破壊もしくは走行回数52万回392kNをもって終了とする。階段状載荷における荷重と走行回数との関係を下図に示す。

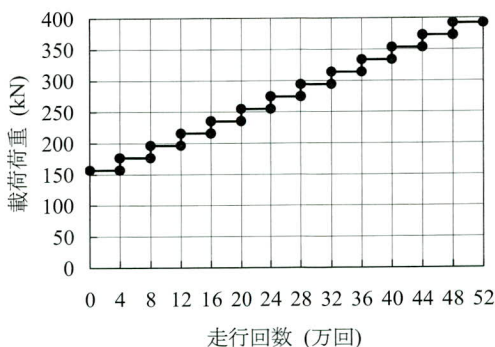


図-3 階段状載荷要領

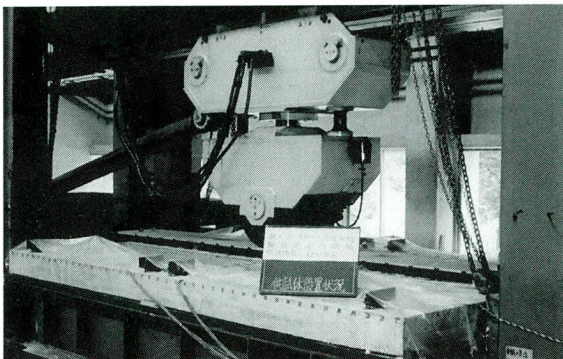


写真-2 輪荷重走行試験状況

### 3. 試験結果および考察

#### (1) 走行試験

QS Slabは走行試験において荷重392kN（40tf）、走行回数52万回に至るまで損傷の発生はなかった。図-4にQS Slabとともに、土木研究所での試験結果から基準床版の最終荷重を加えた走行回数と荷重の関係図を示す。なお基準床版は、平成8年道路橋示方書に準じて設計し製作した鉄筋コンクリート床版（以下、RC8）供試体と、フルプレストレスとして設計した床板のプレストレス量を50%として製作した（以下、PRC50）供試体とした。RC8供試体は荷重274kN（28tf）、走行回数25.6万回で破壊している。また、QS Slab、PRC50は最後まで破壊に至っていない。

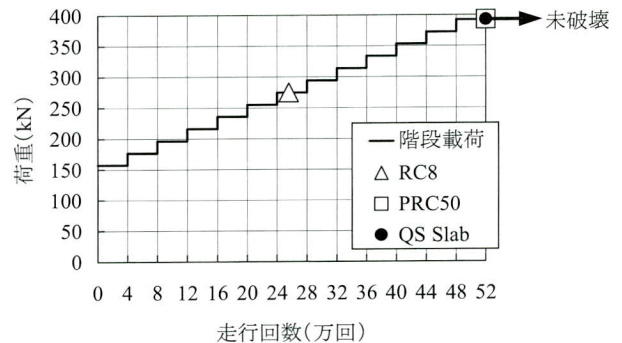


図-4 走行試験結果

#### (2) たわみと走行回数との関係

QS Slabは走行回数52万回まで、たわみの急激な変化はなかった。載荷時の最大たわみは2.81mm、除荷時の最大たわみは1.27mmであった。土木研究所での試験結果であるRC8供試体、PRC50供試体のたわみ-走行回数との比較結果を図-5に示す。QS SlabとRC8供試体を比較すると、RC8供試体のたわみが大きく変化する荷重255

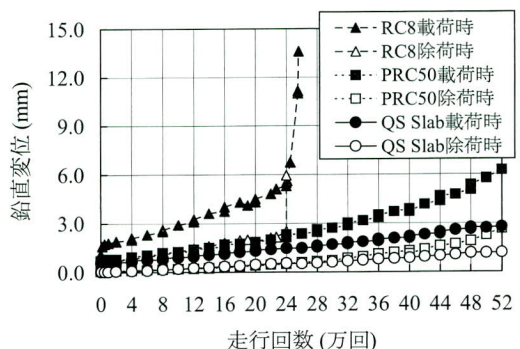


図-5 他形式床版とのたわみの比較

kN (26 tf)、走行回数24万回以前において、QS Slabの弾性たわみはRC8供試体の値の約25%であった。また、QS SlabとPRC50供試体を比較すると、走行完了時においてQS Slabの弾性たわみはPRC50供試体の値の約40%程度であった。

静的計測結果から求めた弾性たわみ（載荷時－除荷時）、および設計荷重（ $P=100\text{kN}$ ）に換算した弾性たわみ（弾性たわみ／荷重） $\times 100\text{kN}$  のたわみ－走行回数の関係を図-6に示す。弾性たわみの最大値は1.58mmであった。剛性の劣化の指標となる換算弾性たわみは走行回数とともに多少増加しているが、走行完了時の換算弾性たわみ（0.39mm）は走行開始時（0.35mm）から大きく変化しておらず、ほとんど劣化していないと考えられる。また、図中にはFEM解析値を併記しているが、コンクリートの応力－ひずみ関係に材料非線形性を考慮しているため、解析値から求めた換算弾性たわみは走行開始時：0.34mm～走行完了時：0.36mmとなっている。換算弾性たわみの計測結果と解析結果は良く一致している。

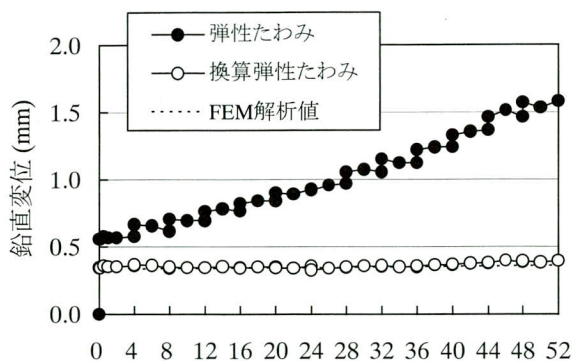


図-6 版中央部の静的弾性たわみ

また、動的たわみと走行回数の関係を図-7に示す。走行試験終了前に記録した最大値は3.15mmであり、静的たわみの最大値（2.81mm）の12%増となっている。また、走行試験終了時の動的たわみの弾性値は1.52mmで、

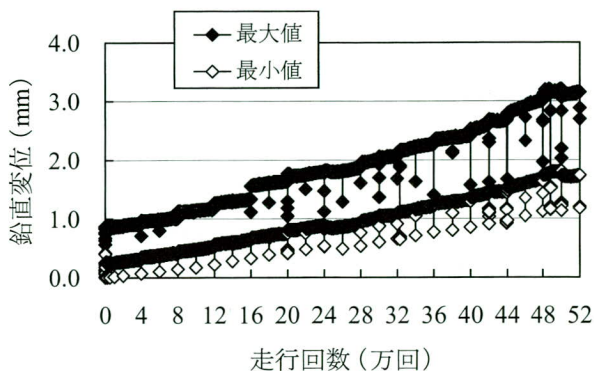


図-7 版中央部の動的たわみ

静的弾性たわみ（1.54mm）とほぼ同程度であった。

### (3) ひずみと走行回数との関係

QS Slabのひずみ性状もたわみと同様に、走行回数の増加に伴う劣化の兆候は表れていない。ひずみの計測結果から、代表的な例として底鋼板中央部の主鉄筋方向（橋軸直角方向）静的ひずみ－走行回数関係を図-8に、動的ひずみ－走行回数関係を図-9に示す。

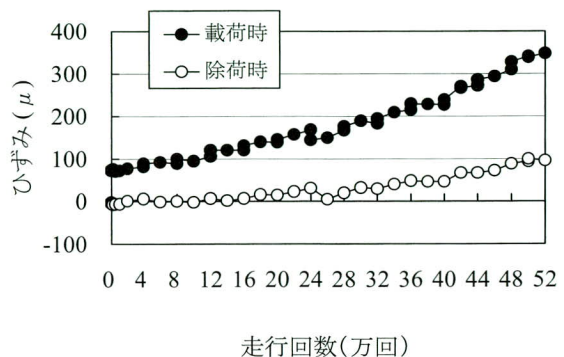


図-8 版中央部の底鋼板橋軸直角方向静的ひずみ

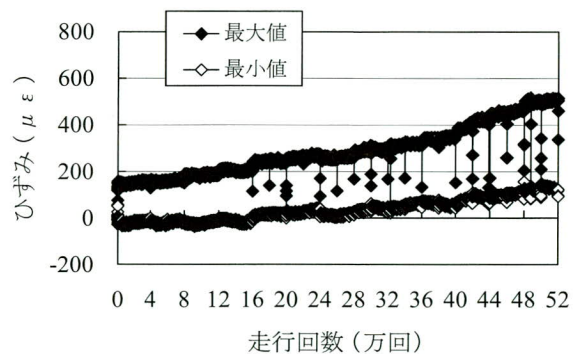


図-9 版中央部の底鋼板橋軸直角方向動的ひずみ

### (4) 供試体の損傷状況

QS Slabは走行完了まで破壊に至らなかったが、コンクリートにごく一部ひび割れ損傷、底鋼板とコンクリートとの付着劣化が確認された。以下に各部の損傷状況を述べる。

#### ①コンクリート表面のひび割れ

走行回数20万回、荷重235kNにおいて、側面の底鋼板側から60mm程度のひび割れが確認された。その後側面のひび割れは、長さおよび幅に顕著な進展はなかった。

床版上面では、走行回数44万回、荷重353kNで供試体のへりに長さ80mm程度のひび割れが確認された。その後、走行試験終了時に同様のひび割れが1箇所確認されたが、上面のひび割れは2箇所のみであった。試験終了



後に走行盤を解体して観察を行ったが、走行位置の表面にもひび割れは発生しておらず、健全な状態であった。

コンクリートのひび割れ観察結果を図-10に示し、ひび割れ状況の例を写真-3に示す。

### ②床版切断面の状況

走行試験の終了後、鋼製部材内へのコンクリート充填状況と、リブ形状に起因するひび割れ発生の有無を確認するために、供試体を切断し断面の観察を行った。

観察の結果は、切断面には切断作業により生じたひび割れ以外は見られず、走行試験により生じたひび割れは全くなかった。また、鋼製部材内へのコンクリート充填状況にも問題はなく、特にTリブフランジ裏側へのコンクリート充填性に関しては、残留気泡や充填不良はなく良好な状態であるとともに、フランジ部からの微細なひ

び割れの発生もなかった。切断面の状況を写真-4に示す。

### ③底鋼板とコンクリートとの付着の状況

輪荷重走行試験中の底鋼板とコンクリートとの付着状況は、検鉞ハンマーによる打音確認により行った。

付着劣化は走行回数26万回、荷重294kNの段階で確認され、走行回数の増加とともに範囲が広がった。付着劣化の範囲は、走行盤直下に位置するTリブ間に多く認められた。ただし、たわみおよびひずみ計測結果によれば、走行完了までの剛性低下はほとんどなかったことから、付着劣化が剛性および疲労耐久性に与える影響は小さいと思われる。

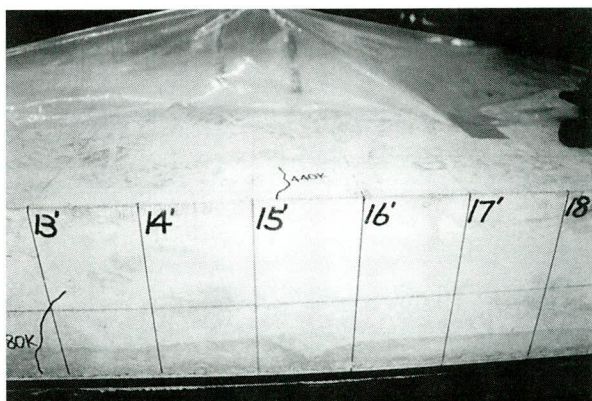


写真-3 コンクリート上面と側面のひび割れ状況

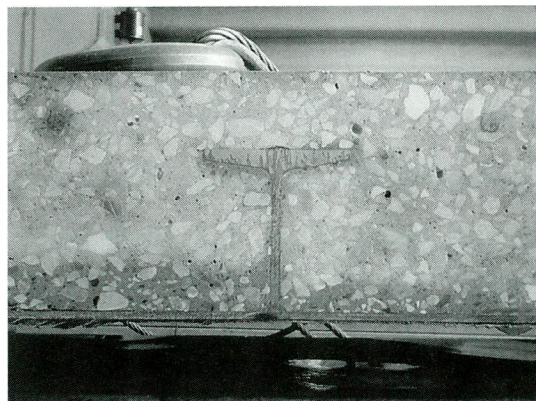
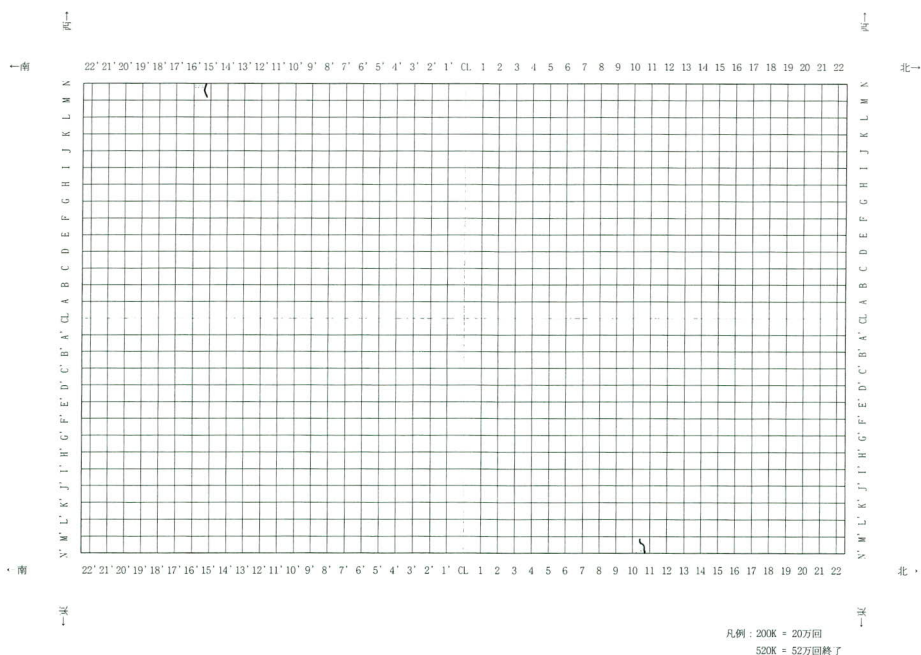


写真-4 切断面の状況



ひび割れ図 (QS Slab: 上面)

図-10 コンクリートのひび割れ観察結果

### (5) 疲労耐久性の評価

QS Slabは未破壊にて試験を終了したが、Tリブと底鋼板とのすみ肉溶接部は、疲労耐久性の照査が必要であると考えられる。そこで、Tリブと底鋼板との溶接継手に着目し、鋼構造物の疲労照査手法に準じて評価を行った。

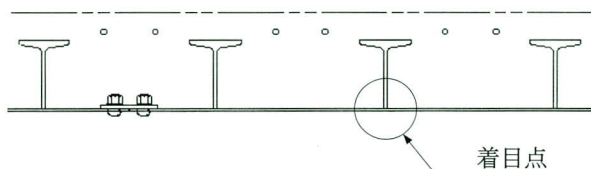


図-11 疲労照査の着目点

疲労耐久性の評価は、着目点であるTリブと底鋼板とのすみ肉溶接部の継手強度等級を“D等級”とし<sup>3)</sup>、作用応力度をひずみ計測結果ならびにFEM解析結果を基に決定した後、衝撃の影響、コンクリートのヤング係数による影響、供試体の床版厚の影響などを考慮して補正を行った。

QS Slabの疲労耐久性は、走行試験による累積損傷度を計算し、この結果を基準床版であるRC8供試体との相対比較として評価した。基準床版との相対比較結果を表-2に示す。

表-2 基準床版との相対比較結果

	補正前		補正後	
	荷重 (kN)	走行回数 (万回)	荷重 (kN)	走行回数 (万回)
QS Slab	392	52	392	48.7
RC8	275~392	25.6~52	255~333	21.8~37.3

※RC8の破壊は、押し抜きせん断破壊。

QS Slabは走行試験において破壊に至っておらず、高い疲労耐久性を有していることがわかった。

## 4. まとめ

階段状漸増荷重による輪荷重走行試験において、QS Slabは最大荷重392kN、走行回数52万回に至るまで未破壊であった。QS Slabの輪荷重走行試験により得られた知見を以下にまとめる。

① 荷重によるたわみは基準床版であるRC8と比較して25%程度であり、床版として十分な剛性を有している。

さらに、走行回数の増加によって剛性が低下することもなく、十分な耐久性を確認した。

- ② 床版コンクリートには荷重の走行によるひび割れの発生はほとんどなく、有害な損傷は全くなかった。
- ③ 鋼製パネルの連結部である高力ボルト摩擦接合部には、ボルト軸力の低下や摩擦係数の損失などによって生じる口開きは起こらず、十分な耐久性を有していることが確認できた。
- ④ 試験供試体の疲労耐久性に関して、Tリブと底鋼板とのすみ肉溶接部に着目して評価を行った。この結果、合成床版としての所要機能を十分満足し、基準床版であるRC8との相対比較から、高い疲労耐久性を有していることがわかり、実橋への適用においても全く問題ないことを確認できた。

本試験を実施するに当たり、独立行政法人土木研究所構造物研究グループ（橋梁構造）の高橋 実氏をはじめ、土木研究所の関係者の皆様には、多大なるご指導をいただきました。また、試験の実施にあたり(株)フジケンエンジニアリングの方々にご協力いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

## <参考文献>

- 1) 佐藤，能登：鋼・コンクリート合成床版（QS Slab）の開発研究（その1），宮地技報 No.17 2001, pp. 41 - 52, 平成13年12月
- 2) 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）—評価編—，平成13年3月
- 3) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計設計指針・同解説，1993年4月，技報堂出版

2003. 2. 7 受付