

# 鋼・コンクリート合成床版「QS Slab」のコンクリート充填性と非破壊検査による品質保証方法に関する検討

## Concrete Filling Capacity and Quality Assurance Procedure Using Nondestructive Tests for Steel-Concrete Composite Slab (QS Slab)

飯野 元\*<sup>1</sup> 上原 正\*<sup>2</sup> 佐藤 徹\*<sup>3</sup> 林 暢彦\*<sup>4</sup> 内田 智文\*<sup>5</sup>  
*Hajime IINO                      Tadashi UEHARA                      Toru SATO                      Nobuhiko HAYASHI                      Tomofumi UCHIDA*

### Summary

For maintenance management, a scheme for assessing the soundness of steel-concrete composite slabs is needed for deck slabs both during construction as well as those already in service. This paper reports the results of concrete filling capacity verification tests using a full-scale composite slab specimen as well as the effectiveness of the procedure for assuring the quality within concrete using nondestructive tests, in addition to their applicability to an actual bridge.

キーワード：QS Slab、充填性確認試験、非破壊検査

### 1. はじめに

近年、鋼橋の分野では合理化工法として少数主桁橋が提案され、これに伴い床版構造も長支間化とライフサイクルコスト縮減に対応する大きな耐荷力と高い疲労耐久性が要求されてきた。これらを満足する床版形式の一つとして鋼・コンクリート合成床版が開発され、適用事例も増えている。合成床版の特徴として、床版下面に配置される底鋼板が構造部材と床版施工時の型枠・支保工を兼ねることで、高耐荷力・耐久性と現場作業の省力化が図られることがメリットの一つとして挙げられるが、一方では底鋼板によってコンクリートの状態を目視により確認することができないことになる。合成床版の品質は鋼板パネルの構造およびコンクリート材料の特性よりコンクリートの施工に依存するところが大きく、耐荷力、耐久性など所要の性能を満足するためにはコンクリート充填性が確保されている必要がある。合成床版のコンクリート充填性は、施工要領に従った適切な施工を行い、それらのプロセスを管理することによって保証することを基本と考えるが、将来的には検査による品質保証が必要となるものと思われる。また、合成床版を維持管理する上でも合成床版の健全度を評価する必要があるため、コンクリート内部の損傷等を確認する手法の確立が望まれるところである。

これまで鋼・コンクリート合成床版QS Slab（以下、QSスラブと呼ぶ）は、合成床版の性能評価手法の提案<sup>1)</sup>、水張り走行試験に基づく破壊形態の実験的検証<sup>2)</sup>、などを通じて、コンクリート充填性の確認とともに維持管理に有効となる検査方法の検討も行ってきた。本稿では、合成床版の実物大モデルを用いて実施したコンクリート充填性の確認結果<sup>3)、4)</sup>の一例を示すとともに、充填性に関連する非破壊検査を用いたコンクリート内部の品質確認方法の有効性、および実橋床版への適用性に関する検討結果について報告する。

### 2. コンクリート充填性確認試験<sup>4)</sup>

#### (1) 試験概要

QSスラブは、主鉄筋方向の補強鋼材としてI形鋼を用いたT形断面のリブを有する構造に特徴がある。I形鋼の採用は、フランジ部の裏側がテーパーを有することで、コンクリート内部の気泡等が残留し難いように配慮したものである。また、底鋼板は一枚板でハンチプレートでボルト接合する構造としている。ハンチプレートと底鋼板の接合部には、コンクリートが廻り込むような配慮からフィラープレートを用いており、このような構造もQSスラブの特徴の一つであると言える。

\*<sup>1</sup>生産本部設計部設計二課

\*<sup>2</sup>工事本部工事計画部担当課長

\*<sup>3</sup>生産本部技術研究所技術開発課長

\*<sup>4</sup>生産本部技術研究所技術開発課

\*<sup>5</sup>生産本部設計部設計一課

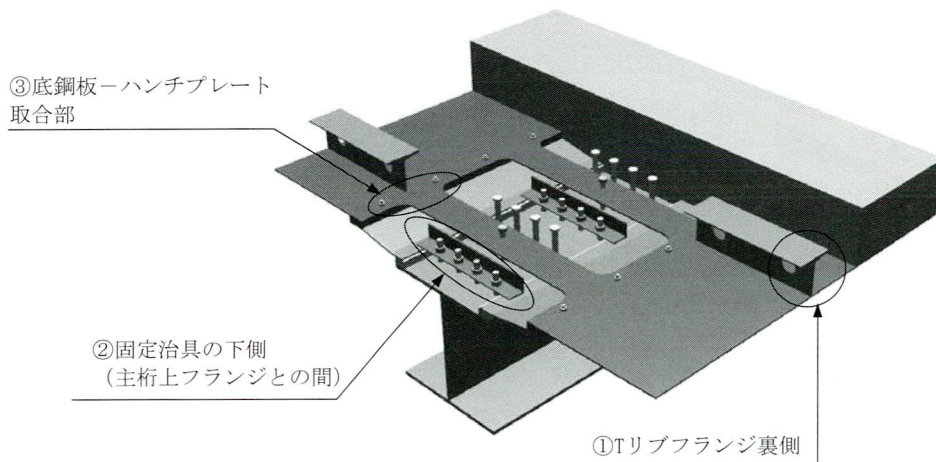


図-1 試験体におけるコンクリートの充填性の着目点

コンクリート充填性確認試験は、実物大モデルの試験体を用いて実施工を想定した施工要領によりコンクリートの打ち込みを行い、QSスラブの構造およびコンクリート施工要領に問題がなくコンクリートが十分に充填されることにより所要の品質を満足することを確認するために行ったものである。施工要領は特にパイププレータの振動時間をパラメータとし、5秒または10秒とする場合の比較を行い、構造的には図-1に示す箇所を主な着目

点としている。

(2) 試験要領

コンクリート充填性試験のフローおよび試験体の状況イメージを図-2に示す。なお、実施工を想定し、床版に打継部を設けるため試験体のコンクリート打ち込みは2度に分けて行うものとした。

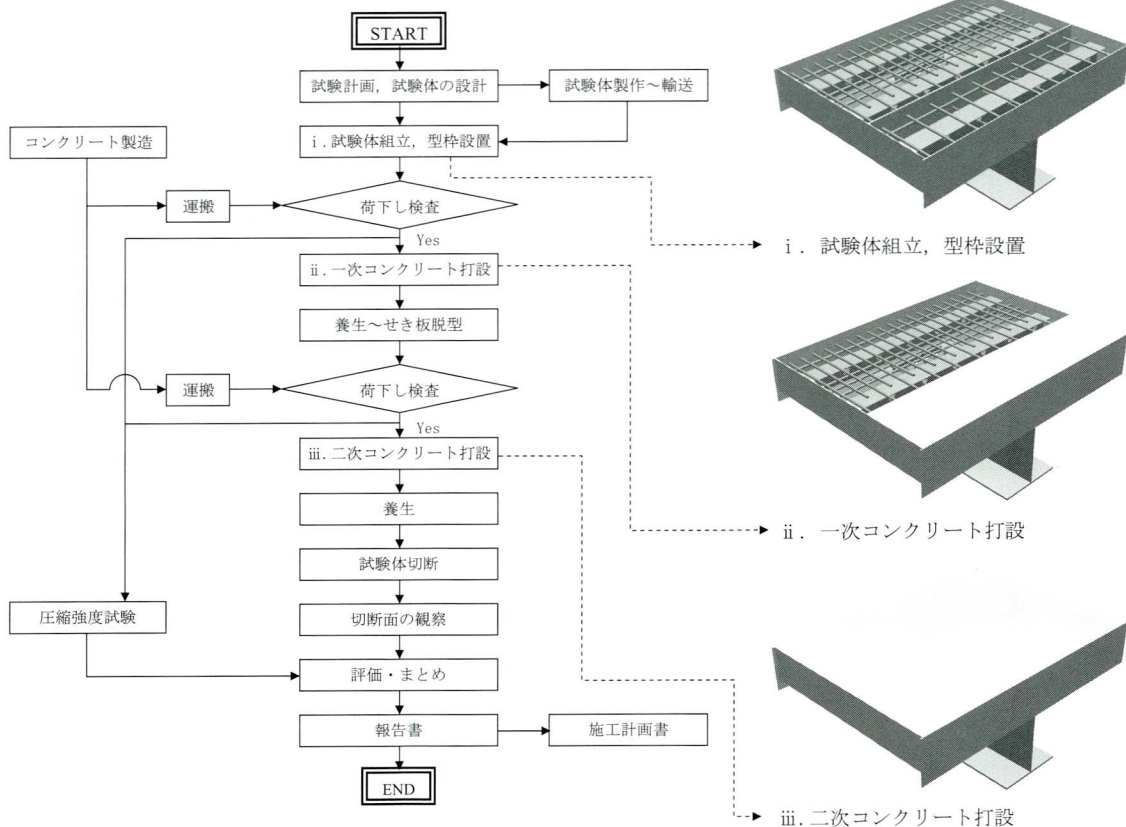
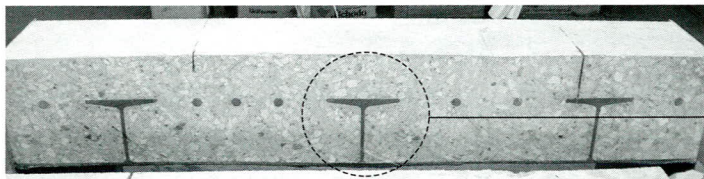
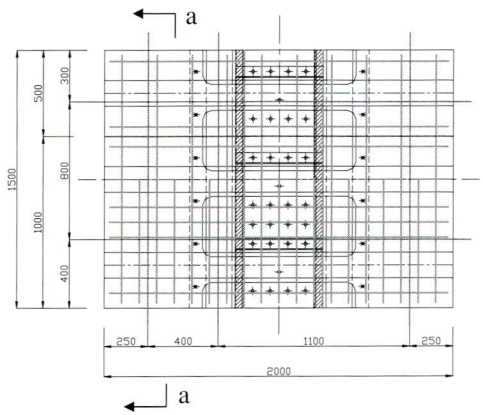
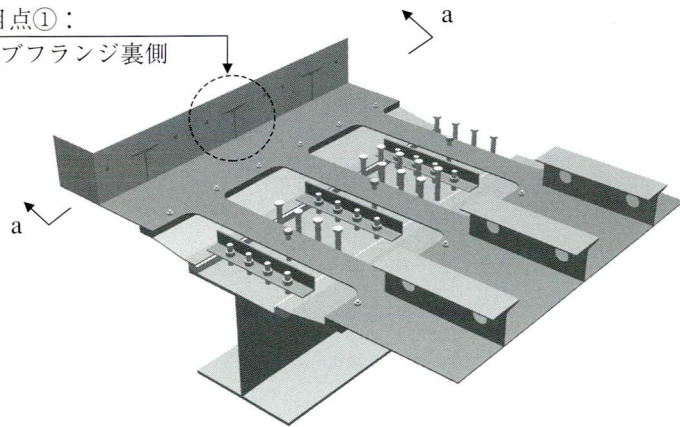


図-2 コンクリート充填性確認試験のフロー

着目点①：

Tリブフランジ裏側



a-a断面

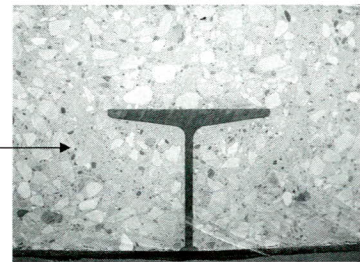
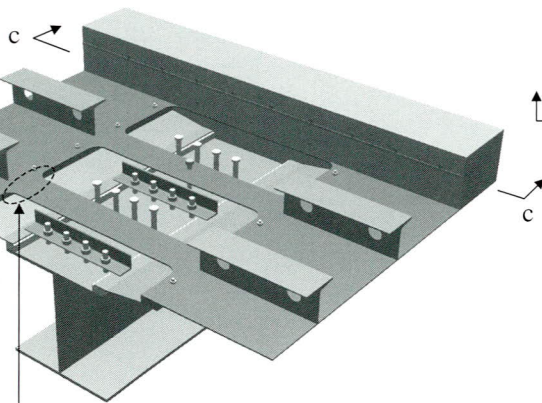
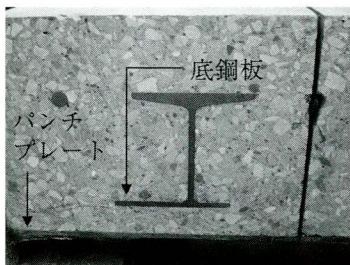
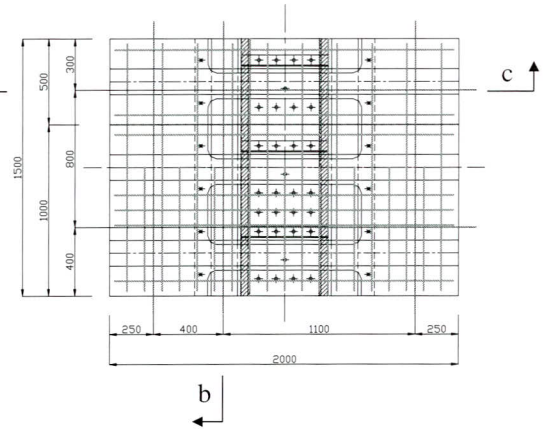


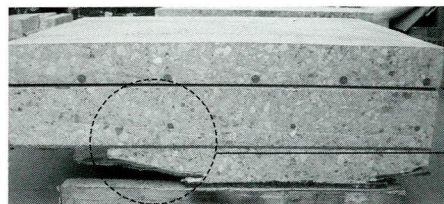
写真-1 Tリブフランジ裏側のコンクリート充填状況



着目点②：底鋼板－  
ハンチPL取合部



b-b断面



c-c断面

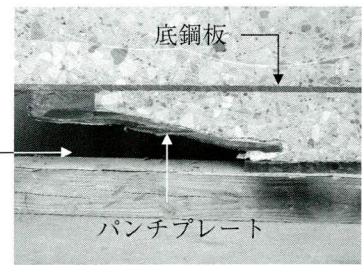
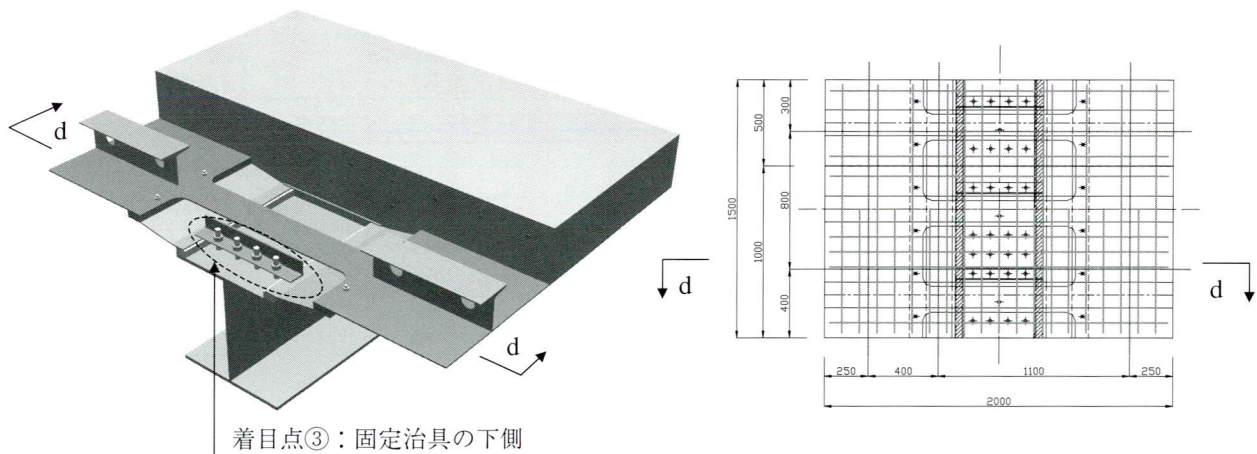
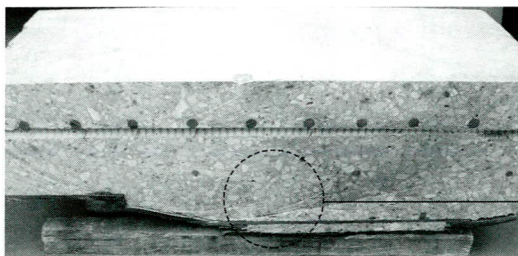


写真-2 底鋼板－ハンチプレート取合部のコンクリート充填状況



着目点③：固定治具の下側



d-d断面

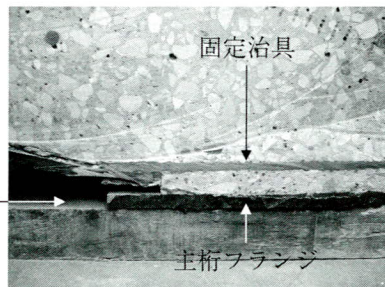


写真-3 固定治具下側のコンクリート充填状況

### (3) まとめ

コンクリート充填性確認試験のまとめを以下に示す。

#### 1) QSスラブの構造

QSスラブの構造において充填不良の生じる恐れのある箇所として、①Tリブフランジ裏側（写真-1）、②底鋼板-ハンチプレート取合部（写真-2）、③固定治具の下側（写真-3）に着目して充填性の確認を行った。

切断面の観察により、①～③の着目点で大きな気泡や空隙は認められなかった。また、着目点以外の部分においても残留気泡等は確認されなかった。したがって、QSスラブの構造が充填性に対して特に問題となることはないことが確認できた。

#### 2) コンクリートの施工要領

試験ではバイブレータの振動時間に着目し、振動時間5秒と10秒の場合の比較を行った。切断面の観察結果より、振動時間が5秒および10秒の場合ともに、断面の骨材分布はほぼ均一であることを確認した。したがって、バイブレータの振動時間を5秒～10秒の範囲内とするこ

とで、所定の品質のコンクリートが施工できるものと考ええる。また、コンクリート打継部は適切な品質であることを確認した。

### 3. 非破壊検査による品質保証方法の検討

連続合成桁の中間支点部に着目した合成床版負曲げ輪荷重走行試験<sup>2)</sup>では、底鋼板の打音検査を実施したところ比較的広い範囲に打音時の反響音の違い（異音）があり、輪荷重走行試験以前の負曲げ荷重の静的載荷によって底鋼板とコンクリートとの間に付着劣化が発生していることが分かった。これは後に実施した切断面の観察によって剥離であることを確認しているが、このような状況が実橋の床版に生じた場合、底鋼板の存在により目視での確認ができなため、剥離か未充填かの判断が困難となる。そこで、合成床版のコンクリート充填性確認試験体<sup>3)</sup>を用いて、これらの現象を非破壊検査によって検出し、事象の特定および補修の要否を判定するための検討を行うものとした。

表-1 QSスラブに想定される事象のパターン

打音による異音なし			打音による異音あり			
健全	空隙 (床版内部)		剥離	剥離+空隙 (下面側)	剥離+空隙 (床版内部)	
パターン①	パターン②	パターン③	パターン④	パターン⑤	パターン⑥	パターン⑦
一般部	一般部	一般部	一般部	一般部	一般部	一般部
ハンチ部	ハンチ部	ハンチ部	ハンチ部	ハンチ部	ハンチ部	ハンチ部

凡例 ■ : 空隙  
----- : 剥離

(1) QSスラブに想定される事象

QSスラブでは、コンクリートが充填された健全状態、合成床版の性能上は問題とならない底鋼板とコンクリートの剥離、または補修を要する空隙などの事象について、構造と発生部位との関連性をあわせて想定した結果、表-1のように整理される。

(2) 試験体による調査

1) 試験体の概要

調査に用いる試験体<sup>3)</sup>の形状とその寸法を図-3に示す。QSスラブに想定される事象をもとに、健全部(パターン①)および剥離部(パターン④)は試験体より部位を選定し、空隙部はドリル等で人工的に設け、非破壊検査により確認を行うものとした。

試験体に設けた空隙のモデルを表-2に示す。

2) 調査方法

一般に、コンクリート構造物の内部欠陥の検査に用い

られる非破壊検査としては、超音波法、衝撃弾性波法、打音法、サーモグラフィ法、電磁波レーダ法、X線透過法などが挙げられる<sup>5)</sup>。これらのうち、コンクリート底面側および内部欠陥の検出が可能である超音波探傷法による調査が有効と考え、図-4に示す3種類の方法による比較を行うものとした。

また、打音法も簡易かつ低コストな検査方法として有

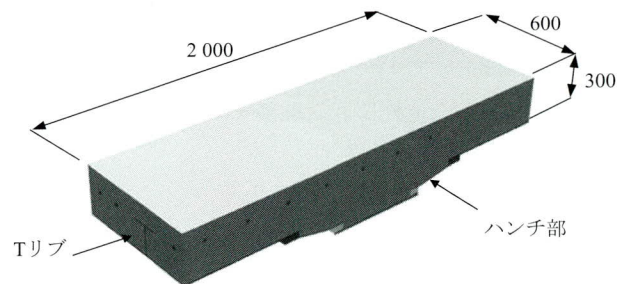


図-3 試験体の形状・寸法

表-2 試験体に人工的に設けた空隙モデル

パターン② (パターン⑥)	パターン③ (パターン⑦)	パターン⑤	パターン⑤'
Tリブ間	Tリブ部	Tリブ間	ハンチ部

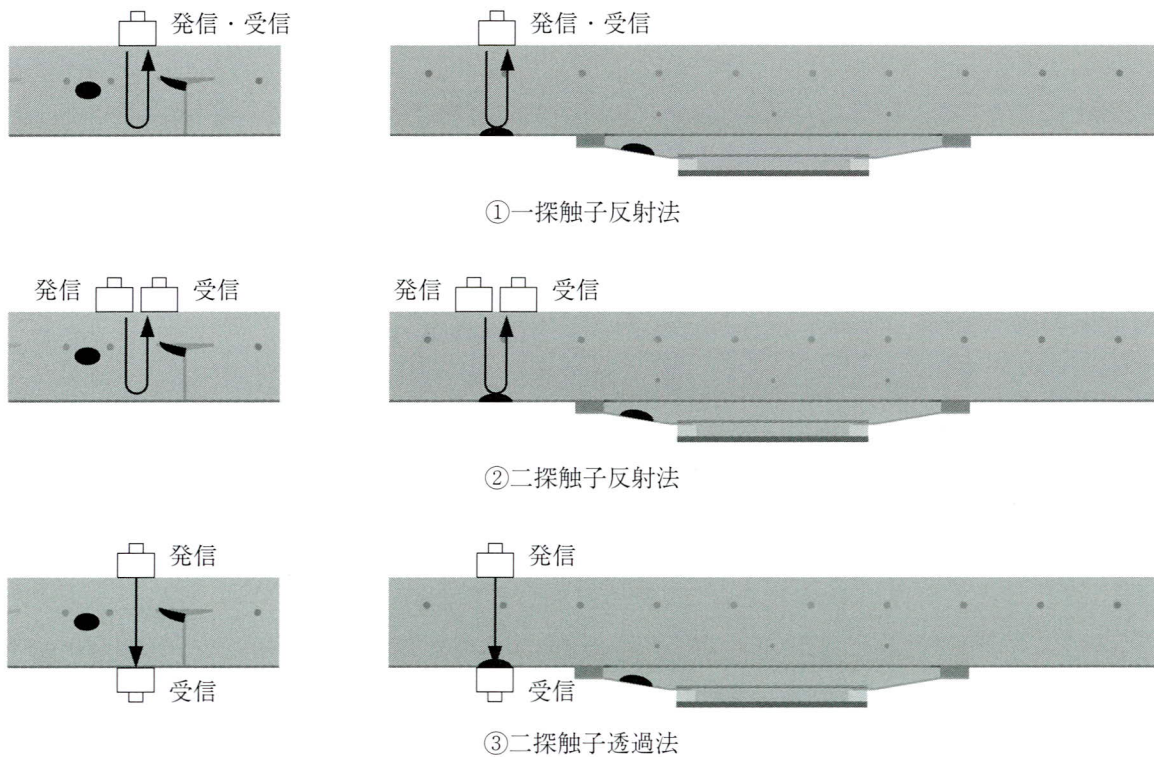


図-4 超音波探傷法による調査要領

効と考えられるが、定量的な評価が困難であるという問題がある。そこで、コンクリートの圧縮強度を簡易的に推定する方法として広く実用化されているシュミットハンマーによる反発硬度測定を応用することを考えた。この方法による強度の推定精度は必ずしも高くはないが、コンクリートの品質に大きな異常が生じていないかどうかを確認するという目的に対しては十分有効であるとされている<sup>6)</sup>。合成床版において異音発生箇所に対するシュミットハンマーによる反発硬度の測定を行ったところ、異音のない箇所との明らかな反発硬度の違いが確認されたことから、健全部との相対比較によって、比較的簡易な方法で合成床版底鋼板部の欠陥を検出できる可能性があると考えた。そこで、シュミットハンマーを用いた反発硬度法による調査もあわせて実施するものとし

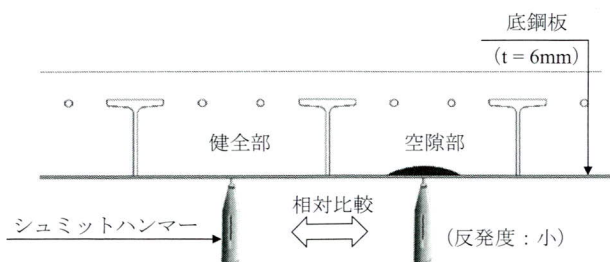


図-5 反発硬度法による調査要領

た。図-5にその調査要領を示す。

### 3) 調査結果

#### (a) 超音波探傷法（一探触子反射法）

一探触子反射法による波形図の例を図-6に示す。

一探触子反射法では、健全部および剥離部においてはコンクリート底面からの反射エコーが得られたが、空隙部はその位置に関係なく波形が乱れ、空隙の位置や大きさを特定することはできなかった。また、Tリブ位置では、鋼材の影響によりコンクリート内部の状態を波形から推測することはできなかった。

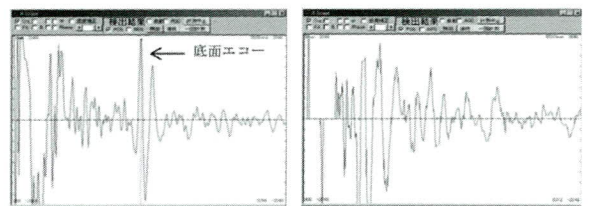


図-6 一探触子反射法による波形図

(b) 超音波探傷法（二探触子反射法）

二探触子反射法による波形図の例を図-7に示す。

二探触子反射法では、健全部もしくは剥離部のコンクリート底面での反射エコーは、一般部と同様にハンチ部でも得られており、QSスラブの鋼材位置や構造に関わらず床版の健全度が評価できると思われる。また、超音波波形と試験体の鋼材または空隙位置との対比によって、これらの位置関係を確認することができており、このようなキャリブレーションや設計寸法を確認することによって、実橋床版でもコンクリート内部の状態を推定できると考えられる。

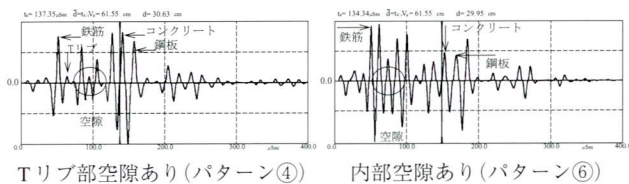


図-7 二探触子反射法による波形図

(c) 超音波探傷法（二探触子透過法）

二探触子透過法による波形図の例を図-8に示す。

二探触子透過法では、健全部では透過エコーが得られるものの、底鋼板とコンクリートとの間に剥離が生じた

場合は全く波形が得られなかった。コンクリート内部の状態の評価に関しては、剥離が生じていれば透過エコーが得られないため、空隙か剥離かの特定は不可能である。

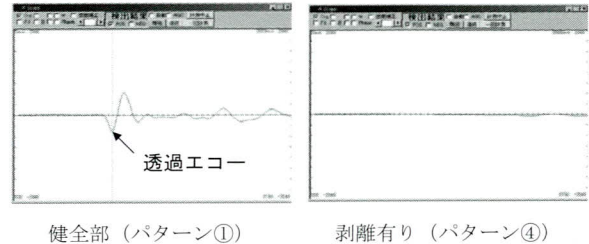


図-8 二探触子透過法による波形図

(d) 反発硬度法

シュミットハンマーを用いて、底鋼板側からの反発硬度を測定した結果を図-9に示す。

打音検査によって異音のない箇所は、コンクリートが充填され明らかに反発硬度が高い。同じように、空隙の位置では明らかに反発硬度は低い値となっている。ただし、異音発生範囲においては反発硬度は大きくばらついており、特定は困難である。また、試験後の負曲げ輪荷重走行試験体<sup>3)</sup>を用いて、シュミットハンマーによる硬

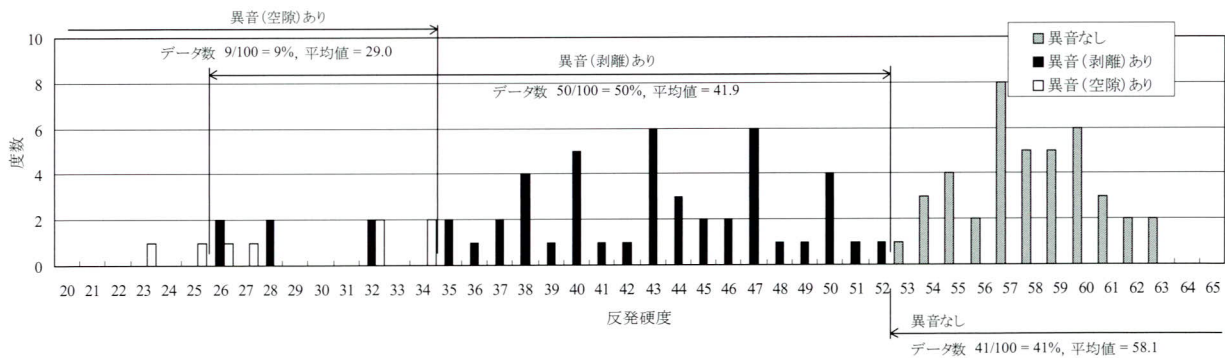


図-9 合成床版試験体での反発硬度測定結果

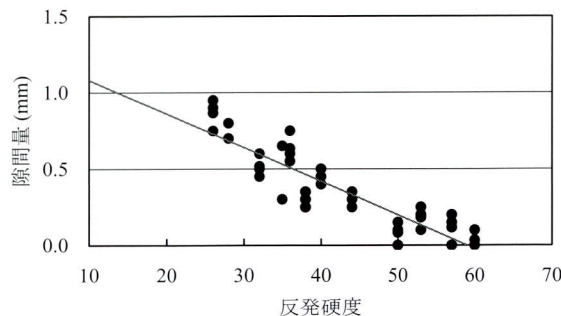


図-10 底鋼板の反発硬度と隙間量の関係

表-3 調査結果の一覧

想定される事象		打音による異音なし			打音による異音あり			
		健全	空隙 (床版内部)		剥離	剥離+空隙 (下面側)	剥離+空隙 (床版内部)	
		パターン① 一般部 ハンチ部	パターン② 一般部 ハンチ部	パターン③ 一般部 ハンチ部	パターン④ 一般部 ハンチ部	パターン⑤ 一般部 ハンチ部	パターン⑥ 一般部 ハンチ部	パターン⑦ 一般部 ハンチ部
調査方法	適用性							
超音波探傷法	①一探触子反射法	●	○(一般部) ×(ハンチ)	×	○(一般部) ×(ハンチ)	×	×	×
	②二探触子反射法	◆	○	○	○	○	○	○
	③二探触子透過法	▲	○	×	×	×	×	×
	④反発硬度法	◎	○	×	△	△	△	×

凡例(調査の有効性) ○:有効, △:条件により有効, ×:無効  
(実橋への適用性) ◎:良, ●:やや良, ◆:可, ▲:困難

度を測定した後に底鋼板に孔をあけ、底鋼板とコンクリートとの隙間の実測を行った。この結果では、反発硬度と隙間量には関連性が見られ、今後より多くのデータを集積することにより、健全度評価に繋がることを期待できると考えられる。

### (3) 検討結果のまとめ

非破壊検査を用いた合成床版の品質保証に関する有効性、および実橋床版への適用性について、表-3に整理する。

超音波探傷法による調査では、一探触子反射法では健全か剥離か確認できるが、コンクリート内部や底鋼板上面の空隙は確認することができず、Tリブ等の鋼材位置でも内部の状態を把握できない。これに対して二探触子反射法は、Tリブフランジ下面の空隙を含む内部欠陥のみならず、底鋼板上面の空隙とその大きさ、位置の推定が可能である。また、ハンチ部の健全性や空隙の有無を確認することも可能である。二探触子透過法では、底鋼板とコンクリートに剥離が生じている場合には透過エコーが得られないため、空隙の特定はできない。

合成床版底鋼板下面からのシュミットハンマーを用いた反発硬度法は、事象によって明らかな差異が生じることは分かったが、この方法のみで品質を保証することは困難である。ただし、実橋での第一段階の調査として範囲を絞る作業には有効であろうと考えている。

## 4. おわりに

QSスラブのコンクリート充填性確認試験と非破壊検

査による品質保証方法の検討から、目視では確認できない合成床版内部の状態に関して、ある程度コンクリート内部の状態が把握できること、品質保証が可能であることが分かった。今後も検討を継続して行うことにより、合成床版の品質管理および維持管理に対して有用な資料となっていくものと期待している。しかしながら、コンクリートの充填性は施工段階で良好であることを保証する必要があり、そのためには施工管理やプロセス管理を適切に行うことが最も重要であることは言うまでもない。

本検討の実施に当たり、多くの方々に多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

### <参考文献>

- 1) 宮地・大豊異工種建設工事共同企業体:亀泉高架橋工事技術評価検討委員会資料,平成16年11月
- 2) 宮地鐵工所・災害科学研究所:連続合成桁の中間支点部に着目した合成床版負曲げ輪荷重走行試験 試験報告書,平成16年3月
- 3) 宮地鐵工所:大高跨線橋(鋼上部工)工事 合成床版・充填性確認試験 試験報告書,平成15年5月
- 4) 宮地・日立JV:OE33工区上部工事 合成床版・充填性確認試験 試験報告書,平成17年1月
- 5) 土木学会メンテナンス工学連合小委員会編:社会基盤メンテナンス工学,東京大学出版会,2004年3月
- 6) 独立行政法人土木研究所,日本構造物診断技術協会編著:非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル,技報堂出版,2003年10月

2005.11.7 受付