

鉄道橋床版における防水工に関する研究

A study about the waterproofing systems in the slab for railway bridges

谷口 望^{*1}, 上月隆史^{*2}, 棚橋明朗^{*3}, 碓山晴久^{*4}, 依田照彦^{*5}
 Nozomu Taniguchi, Takashi Kouzuki, Akio Tanahashi, Haruhisa Ikariyama, Teruhiko Yoda

- *1 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 助教 (鉄道総研) (〒615-8530, 京都府京都市西京区京都大学桂)
- *2 早稲田大学大学院 理工学研究科 建設工学専攻 (〒169-8555, 東京都新宿区大久保 3-4-1)
- *3 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 (〒169-8555, 東京都新宿区大久保 3-4-1)
- *4 (株)東京鐵骨橋梁 技術本部 技術開発部 (〒108-0023, 東京都港区芝浦 4-18-32)
- *5 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授 (〒169-8555, 東京都新宿区大久保 3-4-1)

Concrete slabs have been increasingly used for railway bridges. In the case of using concrete slabs for railway bridges, the consideration on waterproofing systems plays a key role in view of durability. In this study, as a first step, fundamental tests were conducted to examine the waterproofing systems for thin concrete slabs, in which new materials were used. It follows from the experimental study that the proposed waterproofing systems enhance the durability of the concrete slabs in terms of crack resistance.

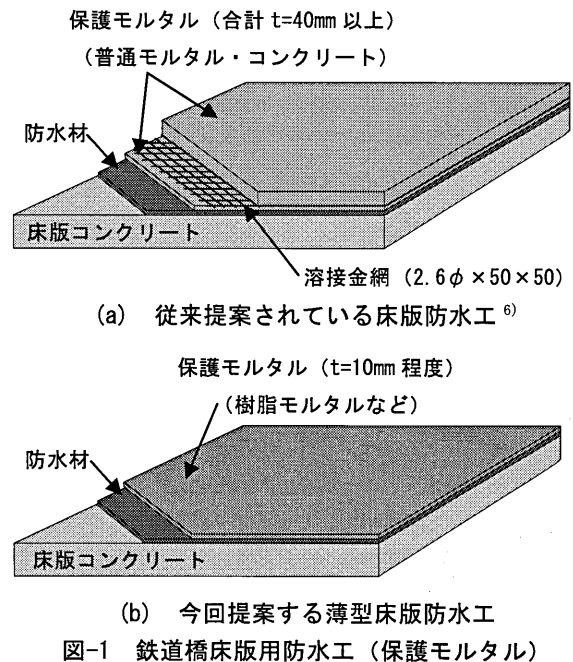
Key words: Railway bridge, Concrete slab, Waterproofing systems

1. はじめに

近年の鉄道橋において、騒音対策や維持管理コストの削減を目的として、コンクリート床版が多用されている。鉄道橋では、RC高架橋のみならず、従来は鋼部材のみで床版を有さない開床式が用いられてきた下路プレートガーダーや下路トラスでも、コンクリート床版が用いられるようになった^{1),2)}。

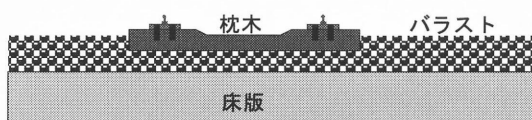
また、道路橋の床版の研究³⁾では、滞水時におけるコンクリート床版の耐久性低下が問題となっており、その結果、コンクリート床版上には防水工を設置することが規定されている⁴⁾。道路橋では、耐水性やアスファルト舗装との付着性能を含めて検討が進められており、様々な防水工が実用化されている⁵⁾。

一方、鉄道橋においては、現時点では、実橋において道路橋のような損傷事例の報告は非常に少ない。この理由としては、鉄道ではレール位置が固定しているため、床版に作用する力のメカニズムが道路と比べて大きく異なり単純であることや、レールを支持する軌道構造がコンクリート床版とは別構造となっており、結果として力が分散して床版に入ることなどが考えられる。よって、鉄道橋の床版では、排水勾配コンクリート等を設置する事例は多いが、床版上に防水工を積極的に設置する事例はあまり多くないのが現状である。鉄道橋を対象とした床版防水工に関する基準も少なく、図-1(a)のような保護モルタルを有する防水工が東日本旅客鉄道(株)の設計マニュアル⁶⁾に示されているほか、鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)⁷⁾では、十分な排水工を設けた場合は防水工を省略してよいこととしている。なお、図-1(a)のような防水工における保護モルタルは、バラスト(砕石)・軌道工事作業による防水材損傷に対しての保護と、紫外線劣化に対しての保護を行なうために、設置が必要

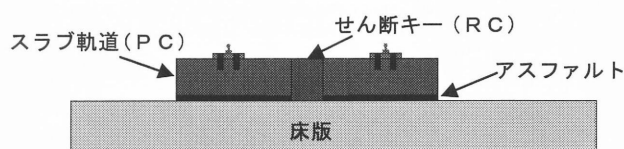


とされている。

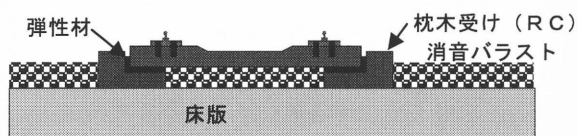
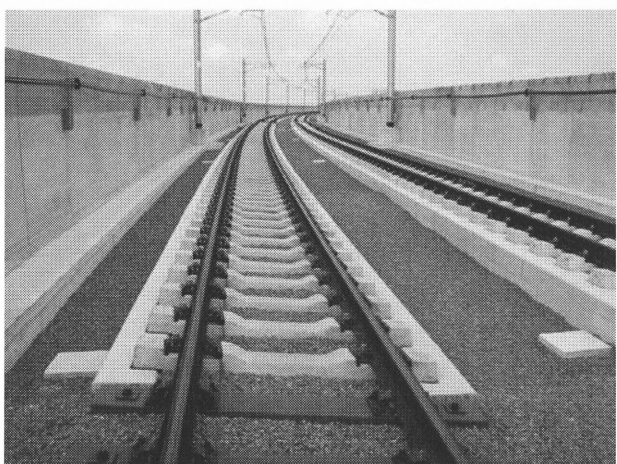
このように、従来の鉄道橋の床版では防水工はあまり用いられてこなかったが、近年導入されたひび割れ制御設計の概念や、経済性の追及から引張部材へのコンクリート床版の合成部材化、さらには薄型化した軌道構造が、ここ数年で多く用いられるようになっており、今後、道路橋と同様に鉄道橋でも、防水工の設置の検討が必要となる可能性がある。しかし、鉄道橋では道路橋と比べても床版上面の構造が大きく異なるため、道路橋の防水工の基準をそのまま適用することができないと考えられる。また、都市内の鉄道橋等、狭隘な箇所では、レールレベルから桁下面までを極力小



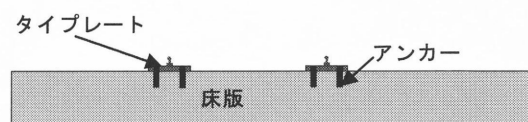
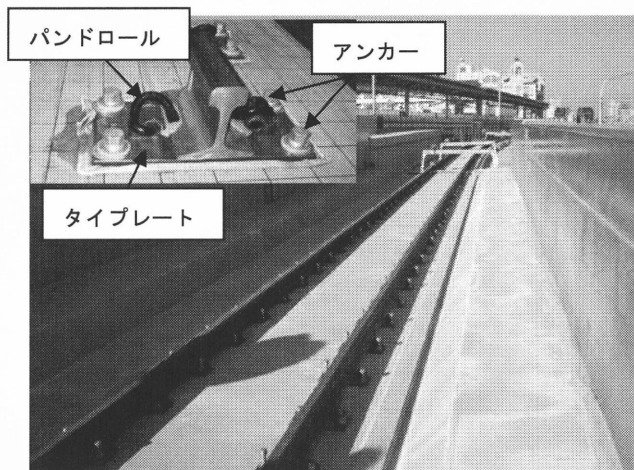
(a) バラスト軌道の事例・概要



(b) スラブ軌道の事例・概要



(c) 弾性直結式軌道の事例・概要



(d) コンクリート直結式軌道の事例・概要²⁾

図2 鉄道橋床版上の軌道構造の事例と概要

さく抑えたいとの要求も多く、防水工を薄型化する必要もある。

そこで、本研究では、鉄道橋における床版を対象とした薄型防水工(図-1(b))を提案し、防水工に関する引張試験を行い、鉄道橋用の防水工の適用性および合理化について検討を行なうこととした。

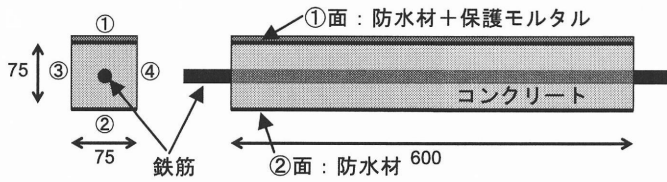
2. 鉄道橋における床版上構造の概要

鉄道橋は道路橋と比較しても床版上の構造が大きく異なっている。そこで本章では、鉄道橋の床版上の軌

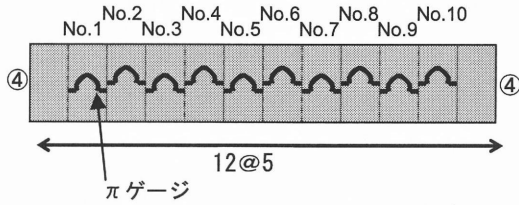
道構造の種類とその概要、および、床版面に防水工を設置した場合の手法について示す。

図-2(a)は、橋梁上以外でも用いられている一般的な構造である。活荷重はバラストを介して床版に力を分散して伝える。本構造の場合、バラストによって床版の防水材が損傷する可能性があるため、図-1のような保護モルタルが必要である。

図-2(b)は、PC版を設置した例であるが、床版とはアスファルトによって分断されており、せん断力はせん断キーによって伝達される。この構造の床版上は多



(a) 試験体概要



(b) πゲージ取り付け位置とNo.

図-3 引張試験体概要 (単位 mm)

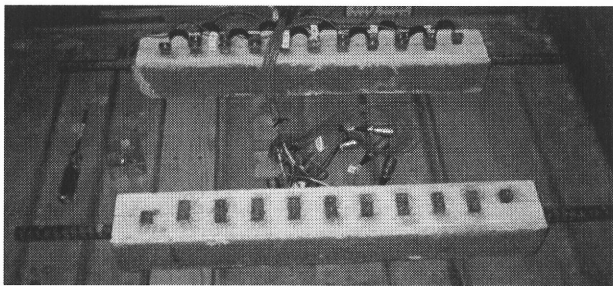


図-4 ひび割れ追従試験体 (引張試験体) 写真

表-1 供試体種類

種類	防水材	保護モルタル
	①②に施工	①のみに施工
A	塗布ウレタンⅠ	ゴムラテ10mm
B	塗布ウレタンⅡ	ゴムラテ10mm
C	塗布ウレタンⅠ	樹脂モル10mm
D	塗布ウレタンⅡ	樹脂モル10mm

塗布ウレタンⅠ：プライマー塗布後、手塗りによりウレタン防水設置⁸⁾
 塗布ウレタンⅡ：プライマー塗布後、スプレーにより超速硬化ウレタン防水設置⁹⁾
 ゴムラテ：ゴムラテックスモルタルを吹き付け施工¹⁰⁾
 (プライマーは未使用)
 樹脂モル：プライマー塗布後、樹脂モルタル打設⁹⁾

表-2 供試体の保護モルタルの配合

(a) ゴムラテックスモルタル (b) 樹脂モルタル

	配合重量比		配合重量比
ポルトランドセメント	1.00	ポルトランドセメント	1.00
硅砂	1.50	硅砂・石灰石	1.50
ゴムラテックス(SBR混和材)	0.35	アクリル系樹脂混和材	0.16
収縮防止剤	0.02	水	0.30

表-3 供試体のコンクリート概要 (4体共通)

呼び強度	30 N/mm ²
スランプ(実測値)	13.5 cm
最大粗骨材寸法	20 mm
試験日圧縮強度	41.8N/mm ²

くの面積が開放されているため、常に紫外線にさらされることになるため、防水材の劣化対策が必要である。また、軌道構造の定期的な作業によって床版上防水材が損傷する可能性もある。よってこれらの理由により、図-1のような保護モルタルが必要である。

図-2(c)は、床版上に枕木受けを設置する構造であり、この枕木受けは床版と一体化されている。図-2(c)の事例では、騒音対策としての消音バラストが設置されているが、この消音バラストは無い場合もある。この構造における防水材でも、バラストがある場合はバラストによる損傷対策、バラストが無い場合は紫外線劣化や軌道工事による損傷対策として、保護モルタルが必要であるといえる。

図-2(d)は、狭隘な箇所等で、軌道構造を極力薄型化するために用いられる構造であり、軌道は床版に直接埋め込まれるアンカーによって固定されている。この構造では、軌道構造による活荷重の分散がほとんど無いため、道路橋における移動輪荷重試験と同様なメカニズムになる。また、アンカーも床版内に埋め込まれるため、この部位でのひび割れが生じた場合、床版内に水が浸透しやすく、防水工の設置が必要と考えられる。防水工についても、紫外線劣化や軌道工事による損傷への対策が必要不可欠であるが、重厚な保護モルタルの設置は、軌道構造の薄さやアンカー定着長確保の点から困難であると考えられる。

これらの床版上の構造から考えても、保護モルタルは床版コンクリートや防水材の耐久性向上に有効であり、この防水工の薄型化(図-1(b))は、死荷重低減にも可能であり、場合によっては必要不可欠であることが分かる。

3. 防水工ひび割れ追従実験

提案する図-1(b)のような構造では、従来から防水材のひび割れ追従試験が、防水材の性能確認試験として行なわれてきている。しかし、保護モルタルを含めた検討はあまり行なわれていないため、コンクリートの引張試験(両引き試験)の供試体に、防水材と保護モルタルを実際の厚さで設置し、コンクリートのひび割れに対する追従性等を確認することとした。

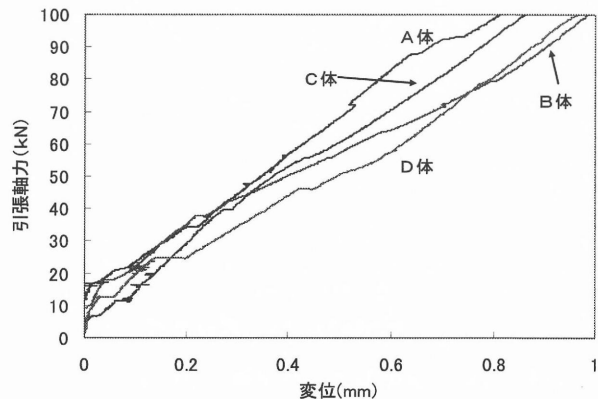
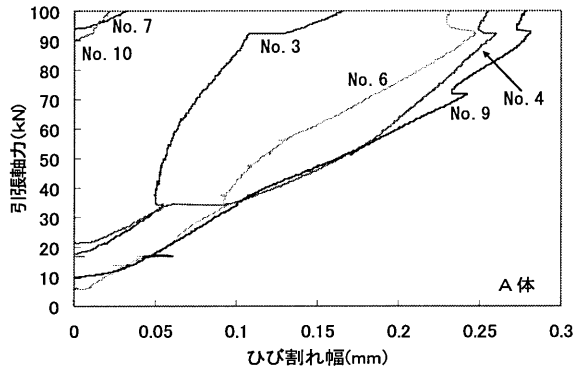
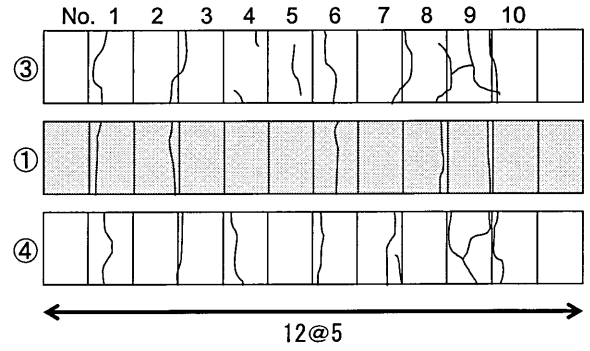


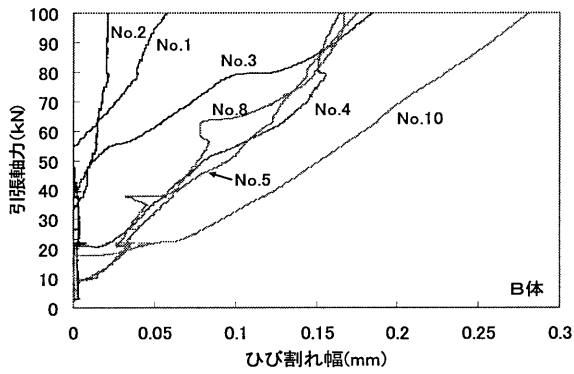
図-5 供試体の軸力—変位関係



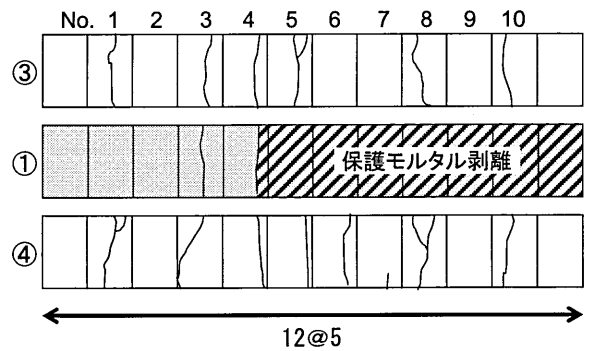
(a) A体の軸力-ひび割れ関係



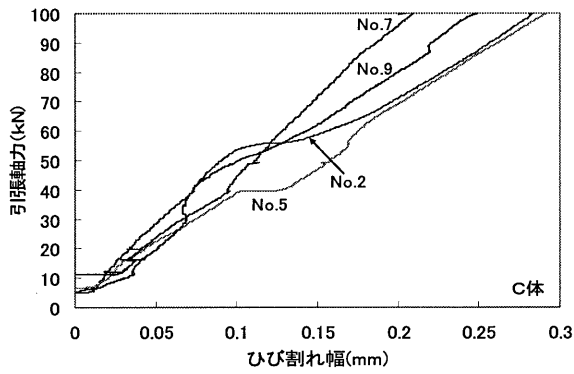
(a) A体の①③④面のひび割れ状況



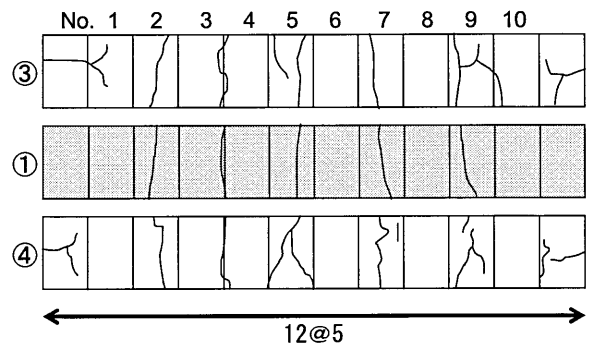
(b) B体の軸力-ひび割れ関係



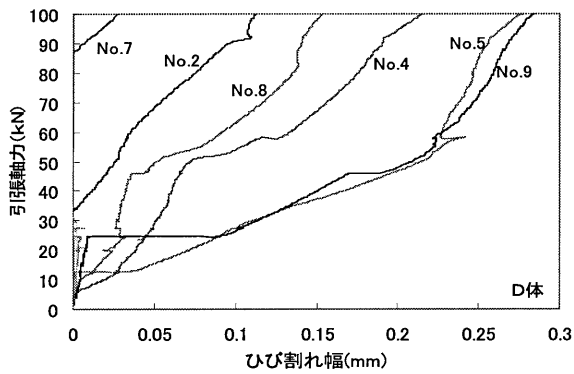
(b) B体の①③④面のひび割れ状況



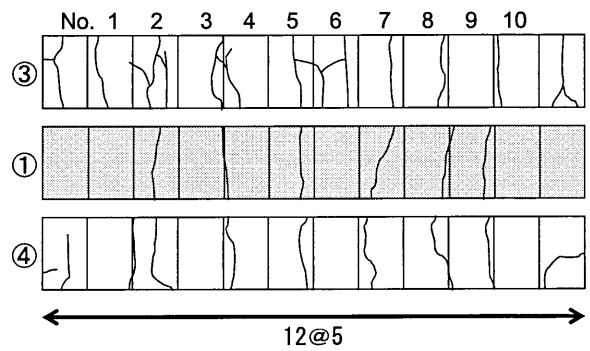
(c) C体の軸力-ひび割れ関係



(c) C体の①③④面のひび割れ状況



(d) D体の軸力-ひび割れ関係



(d) D体の①③④面のひび割れ状況

図-6 各供試体の軸力-ひび割れ幅の関係
(No. はπゲージの番号を示す)

図-7 各供試体の載荷終了時のひび割れ状況
(No. はπゲージの設置位置を示す)

3.1 引張試験概要

供試体の概要を図-3、図-4に示す。コンクリート部の側面は①-④面と設定し、②面は防水材のみ、①面は防水材と保護モルタルを設置するものとした。③、④面はひび割れ確認用にコンクリートを露出させるものとし、④面には図-3(b)のように π ゲージ(標点距離:50mm)を10箇所設置した(No.1-No.10)。供試体は、防水材および保護モルタルの種類により4種類とし(表-1)、防水材にはウレタン系塗布防水材^{8), 9)}(2種類, 1.0~1.2mm厚)を用いた。ここで、塗布形式の防水工を用いた理由は、鉄道橋の床版上では、軌道構造に関する様々な突起物がある事例(図-2(b)~(d))が多く、シート形式の防水工よりも施工上有利であると考えられるためである。また、保護モルタルについては、薄型化とはく離防止への観点から、ゴムラテックスモルタル¹⁰⁾(表-2(a))とアクリル系樹脂モルタル⁹⁾(表-2(b))を用いることとした。使用したコンクリートの概要を表-3に示す。引張試験は、鉄筋が降伏するまで軸力を単調増加させて行なった。供試体の設計荷重としては、鉄筋の引張降伏荷重で98kN、コンクリートのひび割れ幅が0.2mmとなる荷重は48kNである。ここで、ひび割れ幅算出にあたっては、最大かぶりの4倍を最大ひび割れ間隔、収縮ひずみを150 μ と仮定して算出している。なお、本構造では保護モルタルの疲労挙動による影響を検討する必要があるが、ここではかなり大きな引張力(ひび割れ幅)となるまで荷重を行い、基礎的なデータを得るものとした。

3.2 試験結果

試験結果のうち、軸力と変位の関係を図-5に示す。なお、本図では、変位は設置された π ゲージ(No.1-No.10)の合計値とし、軸力はひび割れ幅が最大で0.3mmとなる100kNまで示した。図-5では、各供試体ともに、ほぼ同様な傾向となっており、防水材や保護モルタルによる剛性の差異は少ないといえる。

各供試体の π ゲージによるひび割れ幅と軸力の関係を図-6、載荷終了時のひび割れ発生状況を図-7に示す。各図より供試体には、貫通ひび割れが5-7本生じている。図-6では、それぞれのひび割れは、発生荷重およびひび割れ幅には各供試体の中でも大小があるものの、最大ひび割れ幅については、各供試体ともに同様な値となっていることが分かる。図-7では、各供試体ともに保護モルタル部(供試体①面)においてもひび割れが発生している。この各保護モルタル部のひび割れは、コンクリートのひび割れとは同時に発生せず、コンクリートのひび割れが0.2-0.25mmの時点で、音を伴って入ったものである。この傾向は、防水材や保護モルタルの種類に関わらず同じであった。各供試体ともに同様な傾向であるが、代表としてA体の保護モルタル部のひび割れが発生した直後の写真を図-8に示す。この図から、コンクリート部に複数のひび割れが

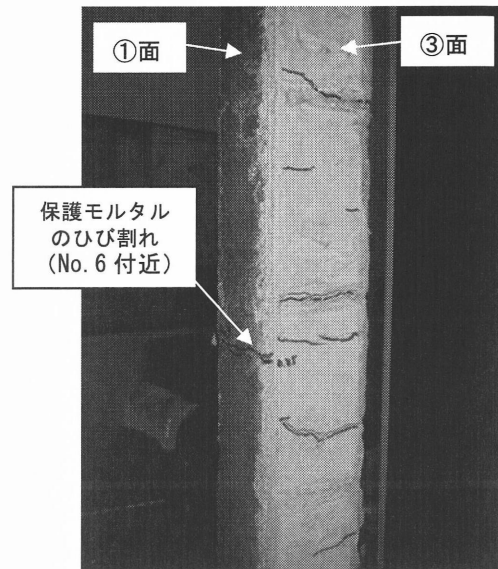


図-8 保護モルタルひび割れ発生直後の状況 (A体最大ひび割れ幅0.25mm時)

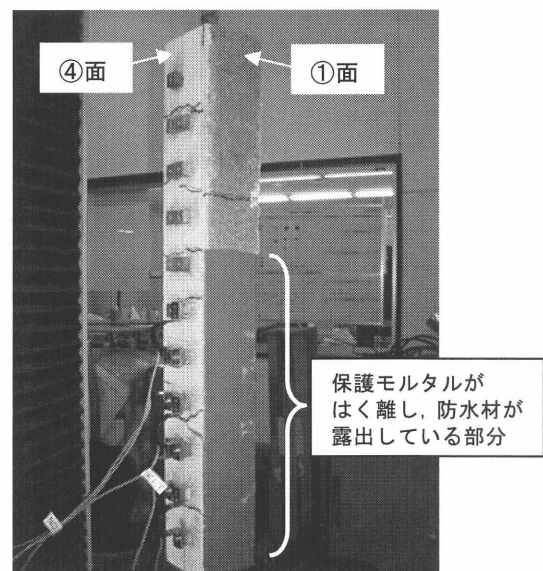


図-9 保護モルタルはく離の状況 (B体載荷終了時)

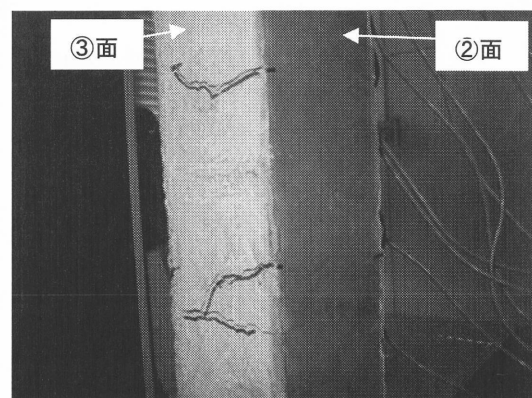


図-10 ひび割れ時の防水材の状況 (A体0.25mm時)

入った後に、保護モルタル部1箇所幅の大きなひび割れが入っていることが分かる。さらに軸力が大きくなると、各供試体の保護モルタル部には複数のひび割れが生じたが、コンクリート部の貫通ひび割れ部と同位置または、貫通ひび割れから10mmの範囲内の位置で生じた。このように、保護モルタル部のひび割れ発生が遅れおよび位置のずれは、ウレタン系塗布防水材の緩衝効果によって生じたものと考えられる。また、B体のみ、保護モルタルのひび割れ発生後に保護モルタルのはく離を生じた。その状況を図-7(b)、図-9に示す。このはく離は、 π ゲージNo.10側の端部(図-9の下側端部)より、コンクリートのひび割れの進展と同時に、保護モルタルと防水材の接触面で生じたものである。供試体ではく離が生じた理由としては、他の供試体に比べて端部の保護モルタルが薄くなっており、せん断力の大きくなる端部ではく離の開始点となったこと、さらに、ゴムラテックスモルタルでは接着プライマー(表-1)を用いなかったため、はく離が進行しやすくなったことが考えられる。このことより、この保護モルタルの設置にあたっては、端部の処理を確実にこなう必要があるといえる。なお、このはく離部の防水材については、割れやコンクリートとはく離は生じていない。

ひび割れ発生時の防水材(②面)の状況では、すべての供試体ともに、良好なひび割れ追従性を示す結果となっており、防水材とコンクリート部のはく離は生じなかった。図-10は代表例としてA体のひび割れ幅0.25mm時の状況を示している。この後、ひび割れ幅が2.0mmを超える鉄筋降伏まで引張試験を行なったが、各供試体ともに防水材自身に割れやはく離は生じなかった。

4. おわりに

本研究では、従来の鉄道橋用防水工に代わる新たな保護モルタルを用いた薄型防水工を提案した。この薄型防水工の引張試験(ひび割れ追従試験)により以下の結果を得た。

- (1) ウレタン系塗布防水材は実使用上のコンクリートひび割れでは十分に追従する。
- (2) ウレタン系塗布防水材上の保護モルタルに、ゴムラテックスモルタルや樹脂モルタルを使用した場合、コンクリートのひび割れが約0.20-0.25mm程度になって、初めてひび割れが生じる。
- (3) 保護モルタルのひび割れ位置は、コンクリートのひび割れ位置とほぼ同様であるが、詳細を見ると、最大約10mm程度のずれが生じているものもあり、防水材が変形の緩衝材としても機能していることが伺える。
- (4) 同保護モルタルは、端部の処理を適切に行わないと、ひび割れによる変形に伴いはく離が生

じる可能性がある。また、端部のはく離が生じた場合、接着プライマーが無いと大きくはく離を生じる。

今後の検討課題としては、保護モルタルの疲労挙動による影響や、はく離を生じにくくするディテール(軌道構造との取り合い部)の検討が挙げられる。

謝辞

本検討では、床版上構造については、鉄道建設・運輸施設整備支援機構、東日本旅客鉄道(株)、西日本旅客鉄道(株)から有益な情報を得ました。また、防水工の選定、施工にあたっては、川崎重工(株)、川重商事(株)、アスク・サンシンエンジニアリング(株)、(株)大阪防水建設社、(株)ダイフレックスの多大なる協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西村康之, 下野一行, 紀伊昌幸, 矢島秀治: 奈良線鴨川橋梁の設計と施工—SRC床版の採用により低い床高と鋼重の低減を可能にした鉄道鋼トラス橋—, 橋梁と基礎, 2000-11, pp.9-18, H12.11.
- 2) 谷口望, 吉田直人, 後藤貴士, 柳沼謙一, 工藤伸司: 鉄道下路桁用合成床版の開発に関する基礎実験, 構造工学論文集 Vol.53A, (社)土木学会, H19.4.
- 3) 松井繁之: 床版研究の変遷と輪荷重走行試験機の役割, 第5回道路橋床版シンポジウム講演論文集, (社)土木学会, pp.1-12, H18.7.
- 4) 複合構造物の性能照査指針(案), (社)土木学会, H14.10
- 5) 道路橋床版防水便覧, (社)日本道路協会, H19.3.
- 6) 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター編: 設計マニュアル, I共通編, 排水工・接合工・防水工設計施工マニュアル, 東日本旅客鉄道(株), H16.12.
- 7) 国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 丸善, H16.4.
- 8) (株)ダイフレックス HP:
http://www.dyflex.co.jp/kouhou/7_ddwaterproof.html
- 9) (株)ダイフレックス レジテクト本部 HP:
<http://www.resitect.net/index.html>
- 10) 大垣賀津雄, 杉浦江, 大久保藤和, 若林伸介: ゴムラテックスモルタルの既設鋼床版への適用法に関する研究, 第7回複合構造の活用に関するシンポジウム, (社)土木学会, H19.11.