

道路橋の耐久性の信頼性向上のための 構造細目や仕様に関する実験的検討

— PC 橋の耐久性，維持管理性に関する検証実験 —

左東 有次*¹・鈴木 雅博*²・中村 定明*³・平野 義徳*⁴

道路橋の耐久性の確保および定期点検等の維持管理を容易かつ確実に行うためには、統一的な構造細目や仕様の充実が有効である。そこで、コンクリート橋の床版部の耐久性に影響する橋面からの伝い水を抑制する地覆の水切り形状および地覆と床版打継部の構造に着目して検証実験を行った。また、PC 橋の桁端部や PC 箱桁橋内部への点検を容易かつ確実に行うために必要な胸壁と桁端部の空間寸法および端横桁の開口部寸法に着目して検証実験を行った。これらの実験により PC 橋の耐久性の信頼性向上のために推奨できる構造細目や仕様が明らかになった。

キーワード：耐久性，維持管理性，地覆，点検空間

1. はじめに

道路橋示方書では、橋の耐久性能は、劣化要因の影響の経年の累積に対して、橋が耐荷性能を発揮するための材料や断面の能力を維持し続けることの時間に対する信頼性とし、維持管理と一体で信頼性を確保するものとされた。一方、耐久性に影響する要因のばらつきはそれぞれ異なると予想される。そこで、ばらつきを定量的に捉えつつも、想定される維持管理を前提に、時間信頼性を確保するための戦略を設計するものとされている。

耐久性のばらつきには、劣化要因の累積量がある程度制御できる実験室レベルで確認できるばらつきもある。また、実構造物では、施工品質のばらつき、作用の累積量のばらつきもある。そして、変状の兆候の発見や対処への容易さも、実構造物の耐久性のばらつきにつながる。そこで、耐久性の信頼性を向上させるためには、単に劣化要因に対する抵抗性を高めるだけでなく、構造細目への入念な配慮が重要になる。しかし、劣化要因やその影響の累積のばらつきを減らしたり、点検により変状の兆候や要因を的確に捉え、確実に措置できるようにしたりするための構造上の工夫は、経験的な対処や試行錯誤に依らざるを得ないもの

も多い。その知見が共有されないことで個別の模索が繰り返されているのでは、わが国の道路橋全体として耐久性の信頼性向上を図るのが難しい。

そこで、耐久性の局所的なばらつきに対して効果が期待できる知見と事例の蓄積と共有を進めるため、国土技術政策総合研究所、(国研) 土木研究所、(一社) 建設コンサルタンツ協会、(一社) 日本橋梁建設協会、(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会は、共同で、耐久性の信頼性向上策を収集し体系化するための技術資料のとりまとめを試みた^{1,2)}。

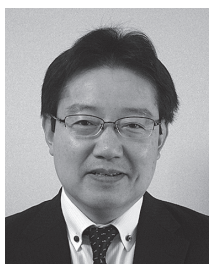
本稿では、PC 橋の耐久性や維持管理性の局所的なばらつきを減らすための構造上の工夫を実験的に検証した、床版への伝い水を抑制する地覆の水切り形状や床版と地覆の打継方法の検証実験³⁾ および PC 橋桁端部の点検性や端横桁開口部の通過性に関する検証実験⁴⁾ について報告する。

2. 地覆水切り形状および床版打継方法

2.1 地覆水切り形状実験

(1) 実験概要

定期点検時に確認された、張出し床版下面に生じた損傷事例を写真 - 1 に示す。雨水や橋面水が地覆部から伝わり、

*¹ Yuji SATO

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会

*² Masahiro SUZUKI

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会

*³ Sadaaki NAKAMURA

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会

*⁴ Yoshinori HIRANO

国土交通省 国土技術政策総合研究所



床版下面にエフロレッセンスが生じている。床版下面に水が伝わりと床版下面の鉄筋が腐食する可能性がある。そのため、地覆水切り部では床版下面に水が伝わりにくい構造が求められる。

床版および地覆各部の名称を図 - 1 に示す。地覆からの伝い水が床版下面に伝わりにくい水切り形状を検討するため、水切り幅、水切り高さ、水切り勾配に着目し、それらを変化させた供試体を用いて人工的に降雨を再現し、降雨時における水切り形状の効果を実験的に確認した。

水切り形状実験の実験条件を表 - 1 に示す。また、供試体 A-3 と供試体 A-4 の供試体形状を図 - 2 に示す。なお、供試体の幅はすべて 1000 mm である。

(2) 実験方法

降雨実験の状況を写真 - 2 に示す。想定した降雨強度は 100 mm/h と 5 mm/h の 2 種類である。降雨強度 100 mm/h は 1961～2008 年の気象官署データに基づく 3 年確率 10 分間降雨強度をもとに設定されている路面排水工等に用いる

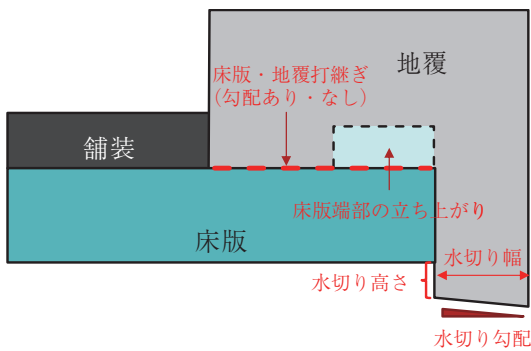
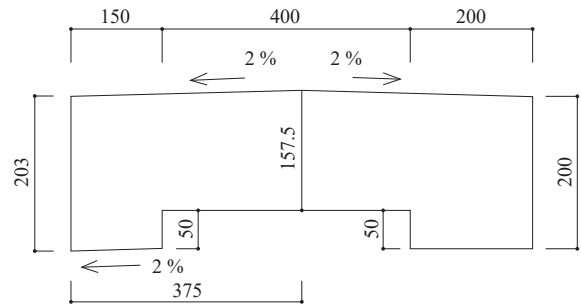


図 - 1 床版および地覆各部の名称

表 - 1 水切り形状実験条件

供試体番号	水切り高さ (mm)	水切り幅 (mm)	水切り勾配 (%)	想定降雨強度* (mm/h)	
A-1	0	0	0	100	5
A-2	50	150	0	100	5
A-3	50	150	2	100	5
A-4	50	200	0	100	5
A-5	70	150	0	100	5
A-6	70	150	2	100	5

*想定降雨強度 100 mm/h は路面排水溝等に用いる標準降雨強度を参考に設定



供試体 A-3 供試体 A-4

図 - 2 供試体形状



(1) 散水状況 (2) 水切り底面

写真 - 2 水切り形状実験

標準降雨強度を参考に設定した。降雨強度が小さい場合については、散水機器の都合上 5 mm/h と設定した。降雨は供試体上に設置した $\phi 13$ mm の塩ビパイプに、 $\phi 3$ mm または $\phi 1$ mm の散水孔を設けて行った。降雨強度 100 mm/h では、 $\phi 3$ mm の散水孔を 100 mm 間隔で 5 箇所設け、降雨強度 5 mm/h では $\phi 1$ mm の散水孔を 20 mm 間隔で 21 か所設けた。降雨量は予備実験により、降雨強度 100 mm/h と 5 mm/h の流量を設定した。

(3) 実験結果

水切り形状の効果は、水切り下面の浸水面積から平均浸水深さを算出することで評価した。なお、評価範囲は両端の 100 mm の範囲を除いた 800 mm の区間とした。実験における降雨強度ごとの平均深さの結果を表 - 2 に示す。実験終了後の水切り底面の浸水範囲を図 - 3 に示す。降雨強度 100 mm/h を想定したケースでは水切り勾配を設けた供

表 - 2 水切り形状実験結果

供試体番号	試験体条件			平均浸水深さ (mm)	
	水切り高さ (mm)	水切り幅 (mm)	水切り勾配 (%)	想定降雨強度 100 mm/h	想定降雨強度 5 mm/h
A-1	0	0	0	80	21
A-2	50	150	0	42	15
A-3	50	150	2	11	7
A-4	50	200	0	43	12
A-5	70	150	0	33	15
A-6	70	150	2	19	17

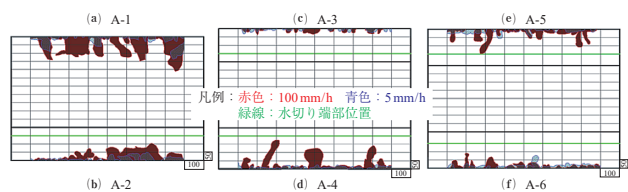


図 - 3 水切り底面浸水状況

試体 A-3 と供試体 A-6 で平均浸水深さは他の供試体より小さくなった。しかし、水切り勾配を設けていない供試体 A-2, A-4, A-5 の平均浸水深さに差異はなく、水切り幅と水切り高さによる明確な差は見られなかった。降雨強度 5 mm/h を想定したケースでは、供試体 A-3 の平均浸水深さは 7 mm であったが、最も平均浸水深さが大きい水切りを設けない供試体 A-1 と比較してもその差は 14 mm であり、降雨強度 100 mm/h のケースほどの効果は見られなかった。水切りを設けたいずれの供試体においても、水切り端部（最奥部）での水の巻き上りは生じなかったことから、水切り高さを 50 mm、水切り幅を 150 mm 確保すれば水切り勾配を設けなくても、床版下面への伝い水が生じにくくなると考えられる。

2.2 床版への地覆の打継方法実験

(1) 実験概要

写真 - 1 の漏水は、床版と地覆の打継部から橋面水が浸透した場合にも発生することがある。PC 橋では張出し床版先端部に横締め定着具が設置されている場合があるため、地覆部から浸透した水により PC 定着具が腐食する可能性がある。そのため、地覆の床版打継面からの漏水を防止することは耐久性を確保するうえで重要であることより、床版と地覆の打継部に着目して、漏水を抑制する打継方法の検証実験を行った。床版と地覆の打継部の種類を図 - 4 に示す。床版と地覆の打継部の処理方法については、(B-1) 地覆の打継面を水平にするタイプ、(B-2) 地覆の立ち上りの一部を床版と一体で製作するタイプ、(B-3) 地覆の打継面に勾配を設けるタイプの 3 種類について検討した。

(2) 実験方法

検証実験では、地覆と床版の打継部の状態を図 - 5 のような供試体で模擬し、加圧による水密性実験を実施し、打継部形状の仕様について検証した。打継方法実験条件を表

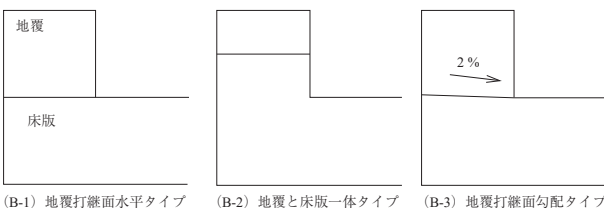


図 - 4 床版と地覆打継部の種類

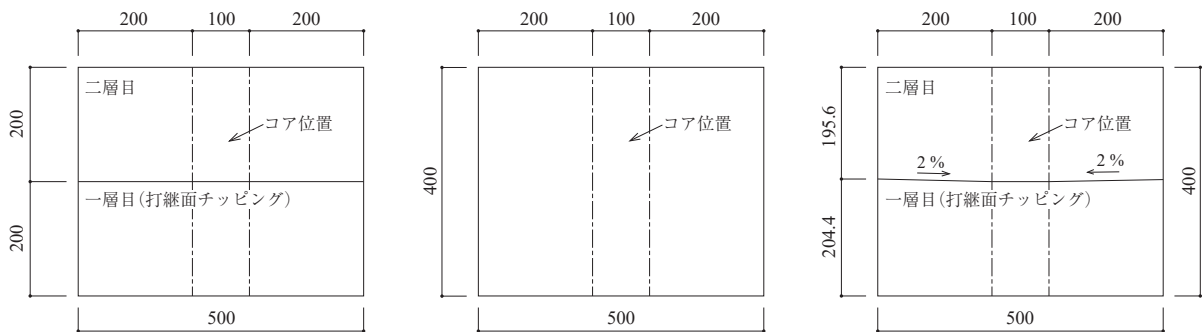


図 - 5 供試体形状図

- 3 に示す。供試体は、1 層目の床版コンクリート ($\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$) を打ち込み、硬化後に電動タガネを使用して骨材が露出する程度まで表面の研り出しを行い、打継面に散水したのち 2 層目の地覆コンクリート ($\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$) を打ち込んだ。なお、供試体 B-2 の地覆の立ち上りの一部を床版と一体で製作した方法は、床版と地覆の打継なしとして模擬した。

作製した供試体の中心に $\phi 100 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ のコアを削孔し、密閉したコア内に注水後、加圧装置で 0.1 N/mm^2 の水圧を作用させ、打継部からの漏水の有無、漏水するまでの時間、漏水が生じた場合は流入量が定常状態になるまでの時間を記録した。加圧実験状況を写真 - 3 に示す。

表 - 3 打継方法実験条件

供試体番号	供試体数	打継ぎ	打継ぎ勾配	床版端部立ち上り
B-1	3 体	あり	なし	なし
B-2	3 体	なし	なし	あり*
B-3	3 体	あり	あり (2%)	なし

*床版端部立ち上りは、打継ぎをなしにすることで模擬

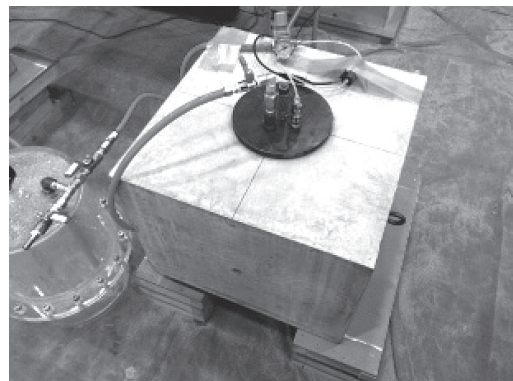


写真 - 3 加圧実験状況

(3) 実験結果

打継方法実験における漏水の有無と漏水時期の計測結果を表 - 4 に示す。また、実験終了後の供試体 B-1_1 と供試体 B-3_2 の側面の漏水状況を写真 - 4 に示す。地覆コンクリートの打継を行った供試体 B-1 シリーズと供試体 B-3 シリーズの漏水時期については、ばらつきが大きく打継面の

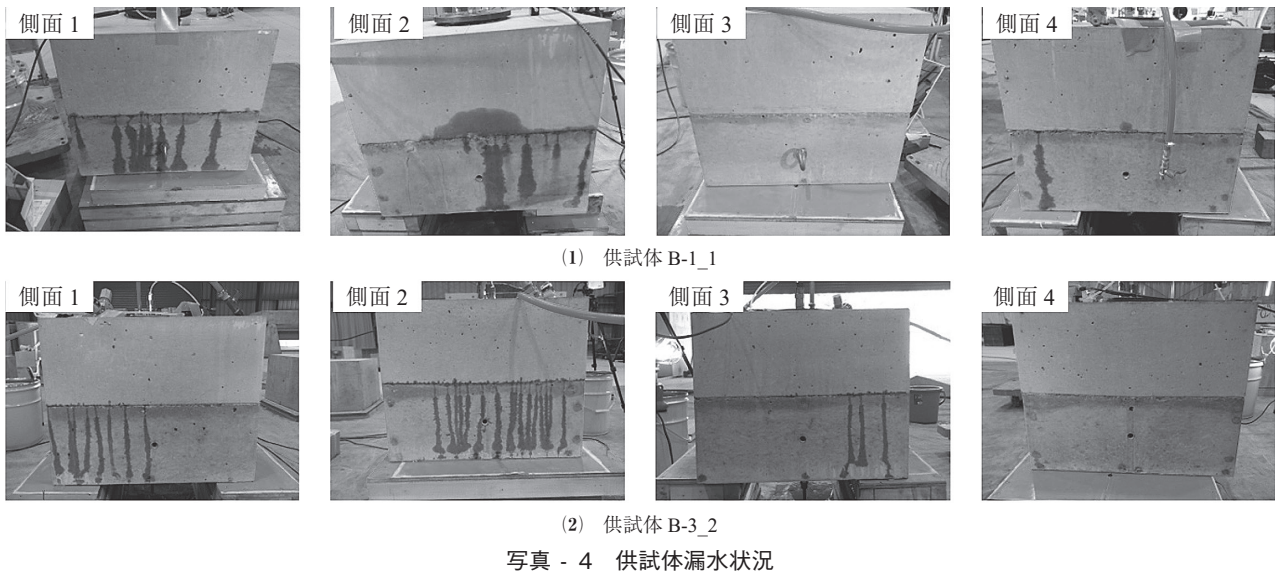


表 - 4 打継方法実験結果

供試体番号	試験条件	漏水時期
B-1_1	打継あり 勾配なし	約 4 分後
B-1_2		約 39 分後
B-1_3		漏水なし
B-2_1	打継なし 床版端部 立ち上げ模擬	漏水なし
B-2_2		漏水なし
B-2_3		漏水なし
B-3_1	打継あり 勾配あり (2%)	約 5 時間後
B-3_2		約 3 分後
B-3_3		約 18 分後

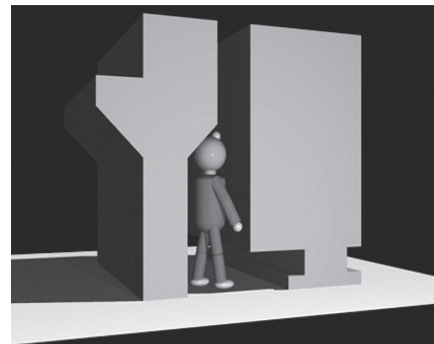


図 - 6 桁端部調査実験イメージ

勾配の効果は確認できなかった。漏水時期のばらつき要因は明確ではないが、打継部の表面処理や2層目のコンクリートの締固めの影響と考えられる。一方、地覆の一部を床版と一体で製作した状態を模擬した供試体 B-2 シリーズについては、全ての供試体で漏水は発生しなかった。以上より、床版と地覆部の打継部からの漏水を抑制するためには、地覆の立ち上りの一部を床版と一体で製作することが効果的であると考えられる。

3. 胸壁と桁端部の空間寸法および端横桁開口部寸法

3.1 胸壁と桁端部の空間寸法の検証実験

(1) 実験概要

PC 橋においては、PC 鋼材の定着部が設けられている桁端部の近接目視点検は重要である。一方、維持管理性を確保するための胸壁と桁端部の空間寸法については、NEXCO 設計要領第二集⁵⁾などに寸法が記載されているが、その寸法の根拠については示されていない。そこで、PC 橋桁端部の近接目視点検が可能な空間寸法について実験により検証を行った。図 - 6 に桁端部の目視調査のイメージ図を、図 - 7 に実験供試体の寸法（橋台側に幅 400 mm × 高さ 500 mm のあごを設置）、表 - 5 に桁端部の目視調査の実験パラメータを示す。桁高は 1 500 mm ~ 2 500 mm の 3 種類、

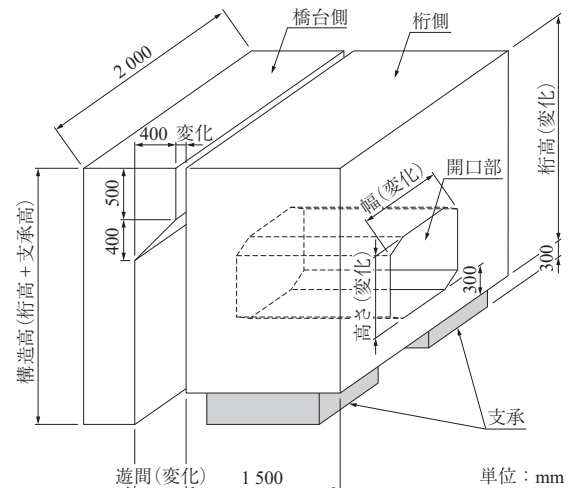


図 - 7 実験供試体寸法

表 - 5 桁端部目視調査実験パラメータ 単位: mm

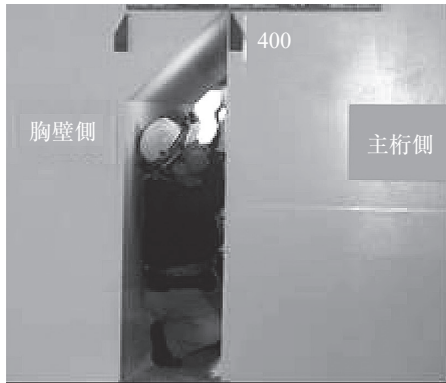
構造高	遊間					
	300	400	500	600	700	800
2 500	○	○	○	○	○	○
2 000	-	○	○	○	○	○
1 500	○	○	○	○	○	○

【凡例】 ○ : 実施, - : 未実施

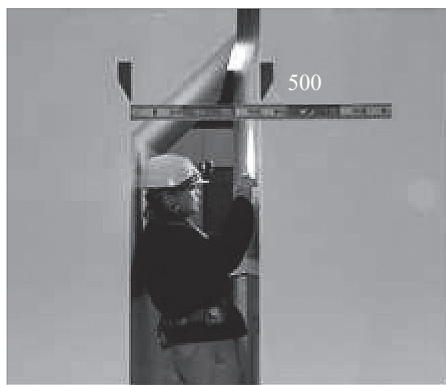
胸壁と桁端部の空間（遊間）は 300 mm～800 mm の 6 種類とした。なお、供試体は合板で製作したものである。

(2) 実験方法

桁端部の通過実験は、点検員 6 人（男性 5 人、女性 1 人）（身長 156 cm～180 cm）で行い、リレー方式での通過時間の計測と通過時の点検員の所見を調査した。また、桁端部の近接目視調査実験は、点検員 1 名（男性）（身長 170 cm）で行い、点検可能な標準的な装備を装着し、桁側に貼り付けた疑似ひび割れ図の調査（長さ、幅）、写真撮影および調査完了までの時間計測を行った。写真 - 5 に桁端部のひび割れ調査状況を示す。



(1) 構造高 2000 mm, 遊間 400 mm



(2) 構造高 2000 mm, 遊間 500 mm

写真 - 5 桁端部ひび割れ調査状況

(3) 実験結果

表 - 6 に桁端部の通過および近接目視調査実験による点検員の所見に基づく実験結果を示す。桁端部通過実験では、点検員 6 人のうち全員が可能あるいは何とか可能と回答があったケースを“○：可能”と判断した。また、近接目視調査実験では、ひび割れ調査かつ写真撮影が可能なケースを“○：可能”とし、ひび割れ調査は可能であるが写真撮影が困難なケースについては“△：何とか可能”と判定した。

表 - 6 の結果より、構造高（桁高+支承高）が 2000 mm 以上では、近接目視調査の可否を考慮すると遊間の必要幅は 500 mm となる。一方、構造高が 1500 mm では 600 mm の遊間が必要となることが示された。図 - 8 は遊間と点検員 6 人のリレー式通過時間を示したものである。この図より、構造高が 2000 mm 以上では通過時間に大きな差はみ

られないが、構造高が 1500 mm の場合、遊間 400 mm の通過時間が遊間 500 mm に比べて多くかかっていることが分かる。これは、構造高が 1500 mm の場合、遊間が 400 mm では“困難”とした点検員の所見と一致している。

また、ひび割れ調査では、桁高に関係なく鉛直、斜め方向のひび割れに対して精度が高く、水平方向ひび割れに対して精度が低かった。これは、主桁上部の水平ひび割れでは胸壁のあご部がひび割れに近くひび割れに対して水平の位置から調査が困難であるため、誤差が生じたものと推察される。

表 - 6 桁端部通過および近接目視調査実験結果

【桁端部通過実験】		単位：mm					
遊間	300	400	500	600	700	800	
構造高 2500	×	○	○	○	○	○	
2000	-	○	○	○	○	○	
1500	×	×	○	○	○	○	

【近接目視調査実験】		単位：mm					
遊間	300	400	500	600	700	800	
構造高 2500	×	△	○	○	○	○	
2000	-	△	○	○	○	○	
1500	×	×	×	○	○	○	

【評価】 ○：可能，△：何とか可能，×：困難

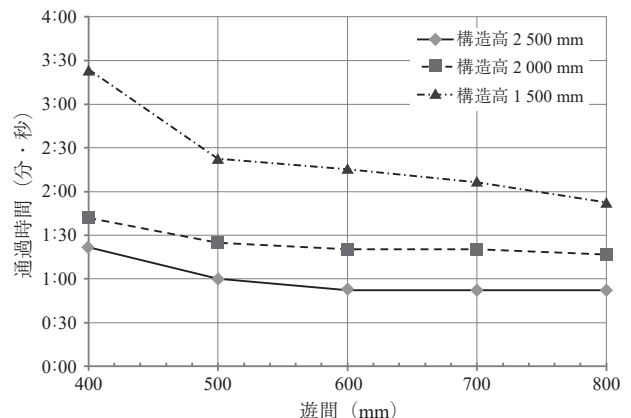


図 - 8 遊間と通過時間の関係

3.2 端横桁の開口部寸法の検証実験

(1) 実験概要

PC 箱桁橋の定期点検では、一般的には端横桁に設置した開口部より桁内に進入し、箱桁内部の点検を行っている。このマンホールの寸法は、桁内への点検員の移動時の負担を考慮するとできるだけ大きいものが望ましいが、PC 橋では、端横桁に外ケーブルの定着具や落橋防止構造が配置されるため、構造的には開口部の大きさが制限される場合が多い。そこで、箱桁内への移動が可能な開口部寸法について実験による検証を行った。実験では胸壁と桁端部の空間寸法の検証実験で使用した図 - 7 の実験供試体を使用した。表 - 7 に開口部通過実験のパラメータを示す。実験は開口部の幅と高さをそれぞれ、600 mm, 800 mm とした計

4種類とした。

表 - 7 開口部通過実験パラメータ

		単位：mm	
高さ \ 幅	800	600	
800	○	○	
600	○	○	

(2) 実験方法

端横桁開口部の通過実験は、桁端部の通過実験と同じ6名の点検者で行い、点検可能な標準的な装備を装着し、桁端部から開口部を通過するまでの時間と点検員の所見を調査した。

(3) 実験結果

表 - 8 に開口部通過実験結果を示す。表中の評価の詳細は、開口部の幅 800 mm × 高さ 800 mm のケースは点検員 6 人中 5 人が“可能”で残る 1 人が“何とか可能”，幅 600 mm × 高さ 800 mm では“可能”が 2 人と“何とか可能”が 4 人，幅 800 mm × 高さ 600 mm では“何とか可能”5 人と“困難”1 人，幅 600 mm × 高さ 600 mm では“何とか可能”2 人と“困難”4 人であった。この結果から、PC 橋の桁端部の開口部としては幅 800 mm × 高さ 800 mm 以上が推奨される。また、開口部の大きさを小さくする必要がある場合は、幅あるいは高さは 600 mm まで縮小可能であるが、この場合高さより幅を小さくした方が通過しやすいという結果を得た。写真 - 6 に開口部通過状況を示す。

表 - 8 開口部通過実験結果

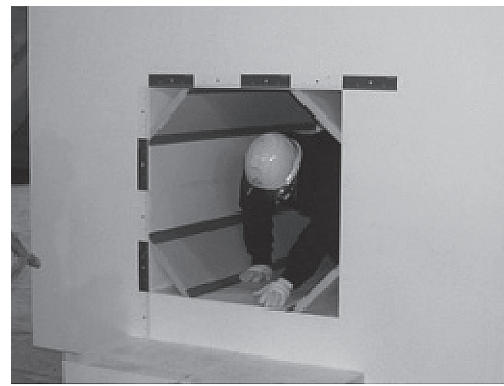
		単位：mm	
高さ \ 幅	800	600	
800	○	△	
600	△	×	

【評価】○：可能，△：何とか可能，×：困難

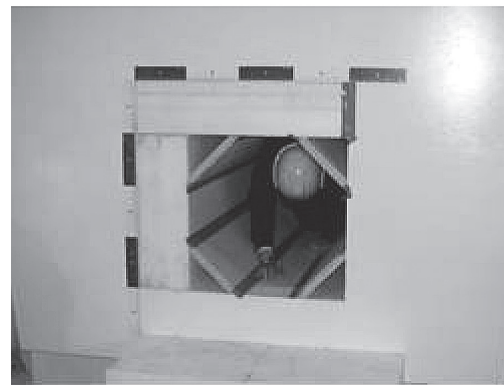
4. おわりに

本研究では、床版下面への伝い水を抑制する地覆の水切り形状や床版打継ぎ方法の検証実験および PC 橋桁端部の点検性や端横桁マンホールの通過性に関する検証実験により以下の知見が得られた。

- ・地覆部の水切り形状としては、水切り高さを 50 mm、水切り幅を 150 mm 確保すれば、水切りに勾配を設けなくても床版下面への伝い水は生じにくい。
- ・床版と地覆の打継ぎ部からの漏水を抑制するためには、地覆の立ち上りの一部を床版と一体で製作することが効果的である。
- ・胸壁と PC 桁端部の空間は、構造高が 2 000 mm ~ 2 500 mm の場合には、500 mm 以上の遊間があれば近接目視によるひび割れ検査は可能であり、構造高が 1 500 mm の場合には、600 mm 以上の遊間が必要である。



(1) 開口部 幅 800 mm, 高さ 800 mm



(2) 開口部 幅 600 mm, 高さ 600 mm

写真 - 6 端横桁開口部通過状況

・端横桁開口部の通過に関しては、開口部寸法が幅 800 mm × 高さ 800 mm であれば比較的通過は容易である。また、開口部寸法を 600 mm まで小さくした場合には、高さより幅を小さくした方が通過しやすい。

PC 橋の耐久性や維持管理性の局所的なばらつきを減らすための工夫について実験的な検討結果の一例を紹介した。本報告が、PC 橋の耐久性の信頼性向上への一助となることを期待します。

参考文献

- 1) 白戸真人, 斎藤 誠, 高山文郷, 中邨良太, 横田 剛: 耐久性能の信頼性向上に向けた設計の留意点, 土木施工, Vol. 59, No.4, pp.33-38, 2018.4
- 2) 道路橋の耐久性の信頼性向上に関する研究, 国総研資料 第 1121 号, 2020.7
- 3) 正木 守, 鈴木雅博: PC 橋の地覆水切り形状および打継ぎ方法に関する実験的検討, 第 32 回日本道路会議論文集, 論文番号 5026, 2017
- 4) 中村定明, 左東有次: PC 橋桁端部の点検性および維持管理性に関する実験的検討, 第 32 回日本道路会議論文集, 論文番号 5027, 2017
- 5) 設計要領第二集橋梁建設編, 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社, pp.6-88, 2016.8

【2020 年 9 月 17 日受付】