

急速施工型浸透系防水工の既存 RC 床版への適用性評価

Evaluation of applicability of rapidly hardening and penetrative type of waterproofing for existing RC decks

青木康素*, 岡田昌澄**, 大西弘志***, 松井繁之****

Yasumoto AOKI, Masasumi OKADA, Hiroshi ONISHI, Shigeyuki MATSUI

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

**首都高速道路公団 保全施設部保全技術課 (〒100-8930 千代田区霞ヶ関 1-4-1)

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

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

Establishing a powerful waterproofing system is required to ensure durability of decks. For that purpose, sophisticated waterproofings are used to newly constructed road bridges. In the meantime, it is common to replace the pavement on the existing road bridges by mechanized construction, and the surface of the deck becomes rugged surface remaining streaks of cutting lines in removing the pavement by a high capacity cutting machine. Therefore, it is important to choose a high-quality waterproofing useful on rugged surfaces. In addition, it is important to construct waterproofing in a short duration of time on bridges under heavy traffic.

The authors focused attention on a penetrative type of waterproofing that can be constructed in a short period of time and carried out some wheel load running tests under water filled condition on RC decks, which had some cracks previously and covered with penetrative waterproof. In addition, we carried out penetrative performance test and tensile and shearing bond strength tests of penetrative waterproof. In this paper, the results of fatigue and static tests are reported, and applicability for existing RC decks and basic characteristics of penetrative type of waterproofing are discussed.

Key Words: penetrative type of waterproofing, wheel load running test, penetrative performance test, bond strength test

1. はじめに

近年、床版に要求される耐久性を確保するためには、床版を雨水から保護する防水層の設置が必須と認識されている。また、道路橋示方書においても防水層の設置が義務付けられた。そこで新設の道路橋に対しては、高機能防水工の施工が提案されており、その性能が期待されている。他方、既設の道路橋での舗装打換え施工では機械施工されるのが一般的であり、舗装を切削機によって取り除くため、床版上面は切削条痕が残る不陸面となってしまう。それゆえに不陸面に対して施工性の高い防水工を選択する必要がある。また、工事に伴う交通規制や通行止めによる交通渋滞を嫌う重交通路線では、短時間で施工することが求められている。そこで、既設道路橋の補修に対する防水工の新材料として、急速施工が可能な浸透系樹脂防水工に着目し、防水工施工した RC 床版に対し小型輪荷重走行試験機による水張環境下での疲労試験を実施し、浸透系防水工がどのような疲労耐久性性能を有するのかを調べた。また、浸透系防水工はクラック部に浸透し、床版補強効果と防水効果を同時に発揮すると期待されている防水工である。そこで、クラック部への浸透度合を調べる浸透性能試験、クラック部での引

張強度、せん断強度を調べる付着強度試験を実施し、防水工施工後の床版上面圧縮側領域における防水工の浸透効果と力学的強度性能を評価した。

2. 浸透系防水工

浸透系防水工はクラックの生じた既設床版の表面に塗布することで、クラック部に含浸するとともに、床版表面に樹脂膜を形成し防水性能を発揮する防水工である。この工法には以下の効果が期待されている。

- 1) 貫通クラックへの充填により床版補強効果と防水効果を同時に発揮する。
- 2) 防水効果は樹脂含浸部分、成膜部分によって発揮する。

浸透系防水工の概略図を図-1 に示す。今回、床版防水に用いた浸透系防水材料は 3 種類であり、表-1 に各種浸透系防水工の仕様を示す。

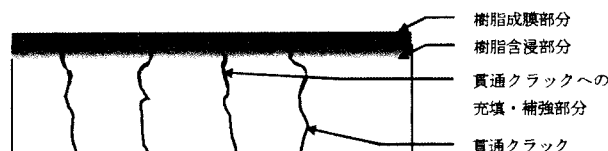


図-1 浸透系防水工

表-1 防水工の仕様

防水工	樹脂	塗布量(kg/m ²)	粘度(mPa・s)	引張強度(N/mm ²)	弾性率(N/mm ²)
Type A	アクリル系樹脂	0.15	300	12	500
Type B	メタクリル系樹脂	0.2	80	43	2200
Type C	エポキシ系樹脂	0.4	300	48	2000

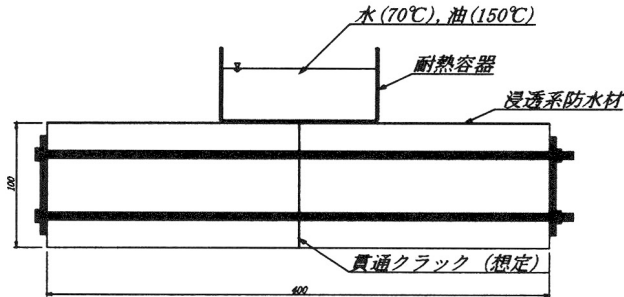


図-2 供試体養生状況 (浸透性能試験)

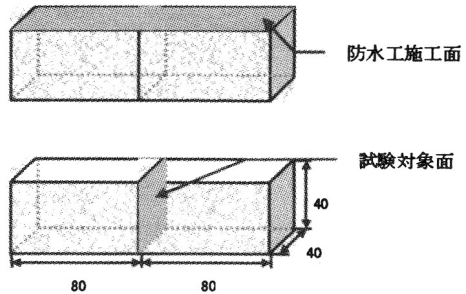


図-3 付着試験用供試体

3. 浸透性能及び付着強度試験概要

3.1 浸透性能試験

100×100×400mm のコンクリート製角柱を基本供試体とし、3点曲げ载荷にて2分割した後、2つの角柱を突き合わせ、密着させて固定金具で保持することで、2つの角柱の突き合わせ面に貫通クラックを再現した。またこの時、クラック幅が各供試体で同程度になるように、固定金具の締め付け量をトルクレンチによりトルク 6N・m で統一した。その結果、幅 0.1mm 程度の貫通クラックとなった。

この供試体に対し防水工施工した後、1時間の常温養生を行った。その後、防水工供試体各3体ずつ上面貫通クラック部を10分の間、常温、約70℃、約150℃の3条件で養生した後(図-2)、固定金具を取り外し、中央貫通クラック部で割って浸透度合を調べた。この時養生時間を1時間としたのは、実施工における防水工施工から舗設までの時間と対応させるためであり、温度条件を3種設定したのは、舗設による床版上面における温度上昇条件を変化させた場合の、浸透系防水材料の浸透性能への影響を調べるためである。なお、温度条件の管理及び養生は、図-2に示すような耐熱容器を、浸透系防水材料を塗布後の供試体上面に置き、これに70℃の水、あるいは150℃の油を入れて、上面温度を保った。

3.2 付着強度試験

40×40×160mm のモルタル製角柱を基本供試体とし、角柱中央部で2分割した後、2つの角柱を突き合わせ、密着させて固定金具で保持することで、2つの角柱の突き合わせ面に貫通クラックを再現した。この供試体に対し防水工施工した後、引張試験及びせん断試験を実施した。今回の試験では40×40mmの角柱供試体による耐力は非常に小さいことから、大阪大学独自の小型試験装置によって実験した¹⁾。なお、せん断試験用供試体では、ひび割れを想定した接合部のインターロッキング抵抗を

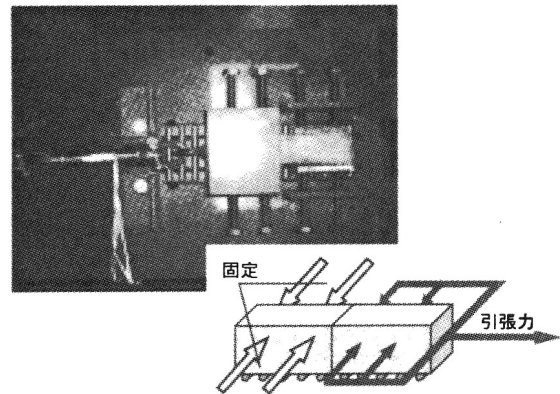


図-4 引張付着強度試験 概略図

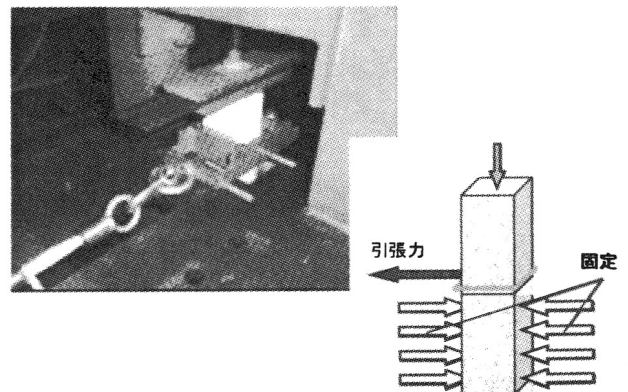


図-5 せん断付着強度試験 概略図

排除するため、中央部をカッターで切断した。また再現した貫通クラックについて、クラック幅の違いによる付着強度の違いを検討するため、突き合わせ断面にアルミ箔を重ねて作った小片を設置し、クラック幅 0.05mm、0.1mm、0.2mm の貫通クラックとした。図-3に供試体概略図を示し、図-4、図-5に試験概略図を示す。

表-2 供試体概要と試験条件

	供試体名	防水工、その他説明	ハンチの有無	試験状態	載荷荷重(kN)
防水工なし	N-3	動的負荷後水張りへ移行	有り	乾燥+水張り	19.3
	HNC-1	静的負荷後に輪荷重試験	無し	水張り	19.3
浸透系	L-A	動的負荷後TypeA防水工	有り	乾燥+水張り	19.3
	L-B	動的負荷後TypeB防水工	有り	乾燥+水張り	19.3
	L-C	動的負荷後TypeC防水工	有り	乾燥+水張り	19.3
	HNC-A	静的負荷後TypeA防水工	無し	水張り	19.3
	HNC-B	静的負荷後TypeB防水工	無し	水張り	19.3
	HNC-C	静的負荷後TypeC防水工	無し	水張り	19.3

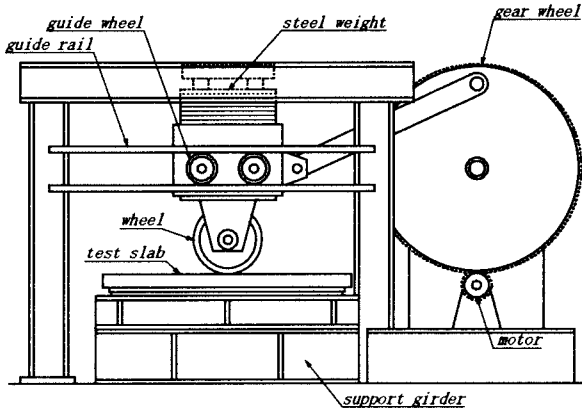


図-6 小型輪荷重走行試験機

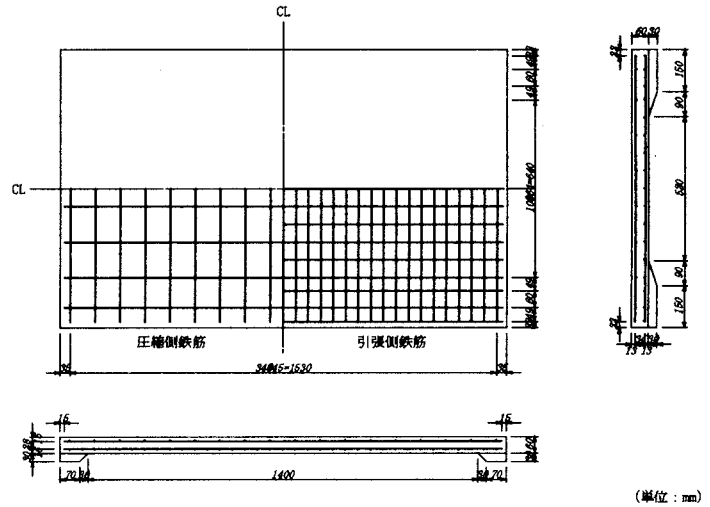


図-7 鉄筋配置図

4. 輪荷重走行疲労試験

4.1 試験装置

本研究で使用した小型輪荷重走行試験機の諸元を以下に示す^{2),3)}。また、構造を図-6に示す。

- ① 載荷能力：0~20kN
- ② 荷重移動範囲：床版中央より±500mm
- ③ 走行速度：46回/min
- ④ 載荷面積：40mm×100mm（接地長×車輪幅）

4.2 供試体

床版供試体の平面寸法は1000mm×1600mm、床版厚60mmのRC床版である。鉄筋はD6を用い、主鉄筋を引張側45mm間隔、圧縮側90mm間隔でかぶりを13mm、配力鉄筋を引張側64mm間隔、圧縮側128mm間隔で配置した。いわゆる複鉄筋断面を採用した。また、試験時に支点となる部分には高さ30mmのハンチを設けたものと、設けないものの2種類を用いた。図-7に鉄筋配置図を示す。また、供試体の概要を表-2に示す。

4.3 試験方法

今回の試験で使用した床版の支持条件は、供試体を単純版として、長辺の2辺を単純支持、短辺の2辺を横桁による弾性支持とした。床版に対する防水工施工は上面のみに対して行うことから、この上面にプールを作製し、常に滞水状態とした。供試体の支持条件を水張り範囲とあわせて図-8に示す。また今回の試験では、貫通クラックの生じている既設床版を想定するため、以下に示す2方法で床版に貫通クラックを発生させた。

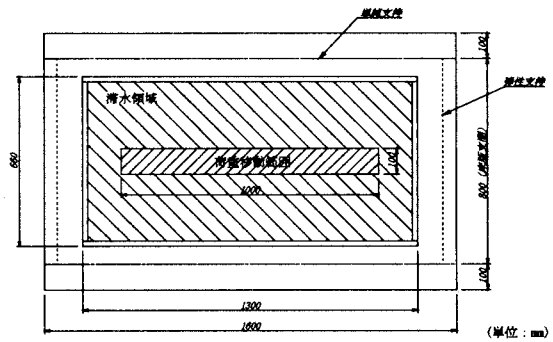


図-8 床版支持条件・水張り範囲

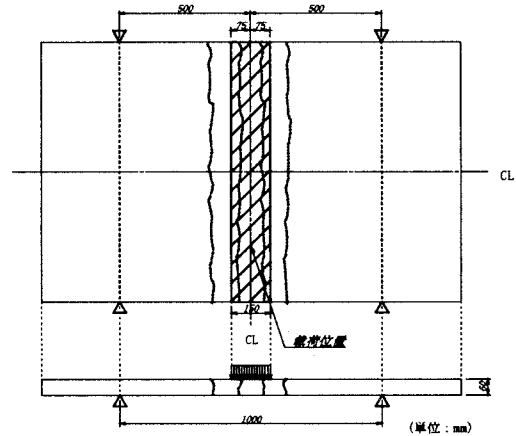


図-9 支持条件・載荷条件（静的負荷）

(1) 動的ひび割れ荷重

防水工を施工していないハンチ有り床版に対して、あらかじめ小型輪荷重走行試験機を用いた一定の輪荷重走行負荷を与え、床版内部に貫通クラックを発生させた。負荷として乾燥状態での40000往復の載荷をした。また、載荷荷重は19.3kNを採用した。その後、水張り状態での載荷を行った。この載荷荷重はひび割れ導入のための走行回数を4万回往復とし、その10倍の回数で疲労破壊する荷重として計算した輪荷重である。

(2) 静的ひび割れ荷重

版を図-9に示すように橋軸方向の単純梁として上下面に対して静的に帯荷重を加えることで、橋軸直角方向のクラックが発生し、それぞれのクラックが床版内部でつながることにより貫通クラックを発生させた。静的負荷による貫通クラックは、図-9のように橋軸方向に約5~8cm間隔で4~5本発生した。その後防水工施工を行い、水張り状態での載荷を行った。

5. 試験結果と考察

5.1 浸透性能試験

割裂後の断面上に10mmのメッシュを印刷したクリアシートを設置し、ブラックライトを当てて写真撮影した。そして、写真上で浸透深さを読み取った。代表的な浸透深さ分布を図-10に示し、温度条件と平均浸透深さの関係を図-11に示す。

TypeA, TypeB, TypeCの順に浸透深さ(浸透度合)が大きいことが認められた。また、温度による浸透度合への影響については、温度が高いとTypeAでは浸透深さが減少し、TypeCでは浸透深さが増加するという傾向を示した。TypeBでは浸透深さは温度の影響が少なくほぼ一定であった。このことから、防水工の種類によっては防水工施工時に、床版上面の温度変化の影響により、浸透度合が変化することが考えられる。また今回の浸透性能試験結果では、防水工の種類により浸透深さは異なるものの、0.1mm程度の貫通クラックに対して浸透系防水工を施工することで、最小浸透深さ4mm程度は確保できると推定される。

5.2 引張付着強度試験

破壊後の断面上に5mmのメッシュを印刷したクリアシートを設置し、ブラックライトを当てて写真撮影した。そして、写真上で浸透部分のメッシュ目で数えることにより浸透面積を測定した。加えて、浸透深さを写真上で読み取った。防水工の引張付着強度試験結果を図-12に示す。また、平均浸透深さを図-13に示す。なお、引張付着強度は引張荷重を全浸透面積で除して求めている。

クラック幅の違いによる付着強度への影響については、TypeAはクラック幅が小さいほど強度が高い傾向を示し、TypeBではクラック幅0.05mmの場合が最も高い強度となった。また、TypeCはクラック幅0.1mm, 0.2mm

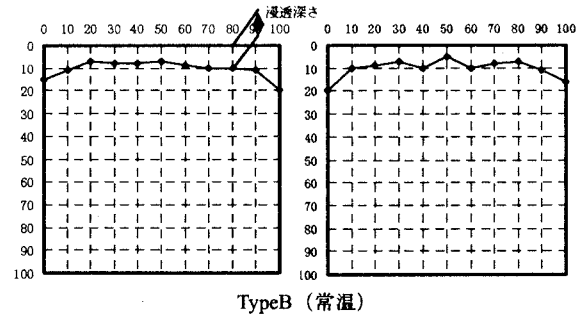


図-10 浸透深さ分布図(一例)

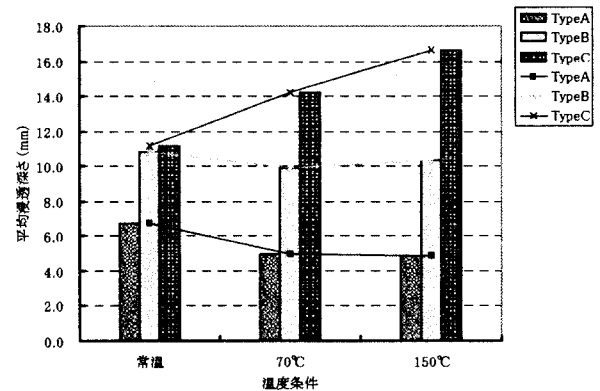


図-11 温度条件による浸透深さの違い

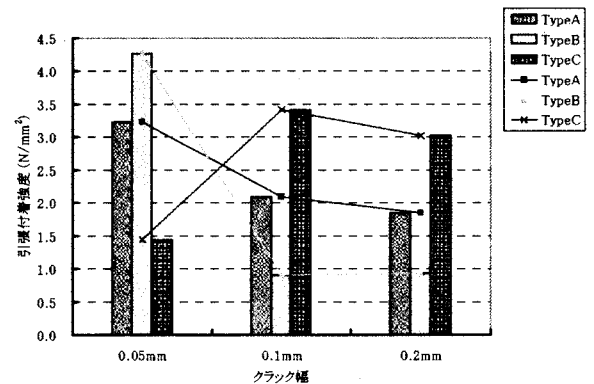


図-12 引張付着強度試験 試験結果

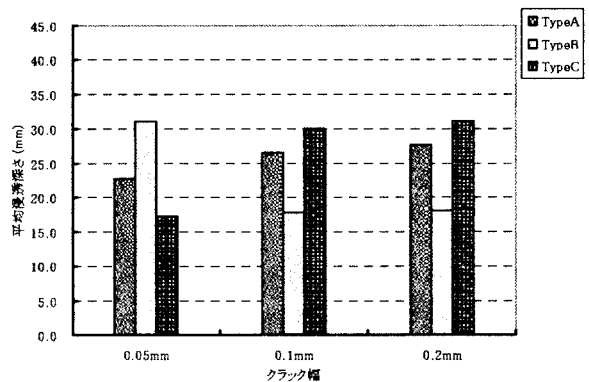


図-13 平均浸透深さ(引張試験体)

で同程度の引張強度であった。これらの傾向はひび割れ幅と樹脂の粘度の関係による、ひび割れへの浸透深さの違いによるものである。

TypeBはクラック幅0.05mmの場合に比べて、0.1mm、0.2mmの場合の引張強度が大きく低下する結果となったが、防水材の粘度が80mPa・sと低いために、幅が0.05mmの狭いクラック部で毛細管現象が起り、防水材がクラック間で架橋して、高強度を発揮したが、0.1mm以上ではモルタルに含浸してしまったために架橋が起こらず、強度への寄与がなかったと推定できる。このことから浸透系防水工は、防水材樹脂の粘度が低いとクラック幅の大きな貫通クラック部では、高強度を発現しにくいことが考えられる。しかし試験結果より、総合的には引張付着強度はコンクリートの引張強度と同程度であることから、浸透系防水材が浸透することでクラック部での補修効果があると考えられる。

5.3 セン断付着強度試験

破壊後の断面上に5mmのメッシュを印刷したクリアシートを設置し、ブラックライトを当てて写真撮影した。そして、写真上で浸透部分のメッシュ目で数えることにより浸透面積を測定した。加えて、浸透深さを写真上で読み取った。防水工のせん断付着強度試験結果を図-14に示す。また、平均浸透深さを図-15に示す。なお、せん断付着強度はせん断荷重を全浸透面積で除して求めている。

クラック幅の違いによる付着強度への影響については、防水工3種ともクラック幅の違いによるせん断強度の顕著な違いは認められず、防水工の種類によって強度にはばらつきがあるものの、クラック幅の違う各供試体で同程度のせん断強度であった。これはクラック幅の違う各供試体で浸透面積が同程度であったことに起因している。浸透面積が防水工のせん断付着抵抗面であることから、せん断抵抗力が同程度となったと推定される。浸透面積が同程度となったのは、本試験の供試体ではインターロッキング抵抗を排除するために、ひび割れ面を平滑にしたため、接合面での樹脂の流下に対する抵抗が非常に低かったことによると考えられる。また一般に、クラック幅の異なる供試体に防水材が浸透した場合、クラック部に充填される防水材の厚さが異なり、強度結果も変わると予想したが、本試験結果ではクラック幅の違い、即ち防水材浸透厚さの違いによらず、せん断強度が同程度であった。これは、防水材内でせん断破壊が起こるのではなく、防水材とモルタルの接合面でせん断力による付着切れが起こったためと考えられる。

5.4 輪荷重走行疲労試験

動的負荷供試体(N-3, L-A~C)と静的負荷供試体(HNC-1, HNC-A~C)、それぞれについて防水工無し床版に対する防水工有り床版の負荷後疲労寿命の増伸度を

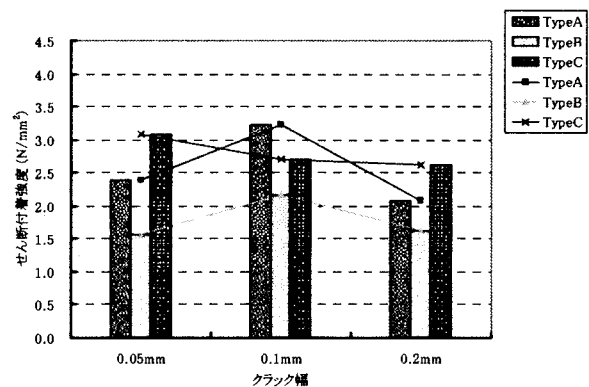


図-14 セン断付着強度試験 試験結果

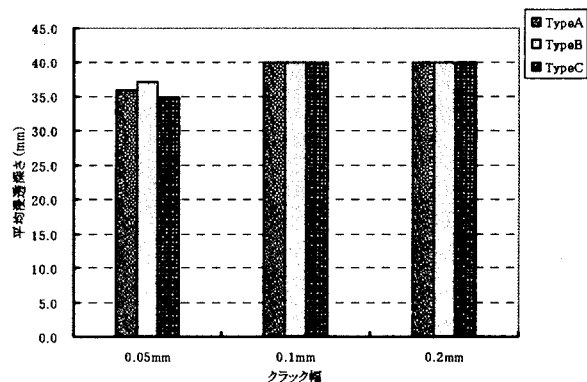


図-15 平均浸透深さ (せん断試験体)

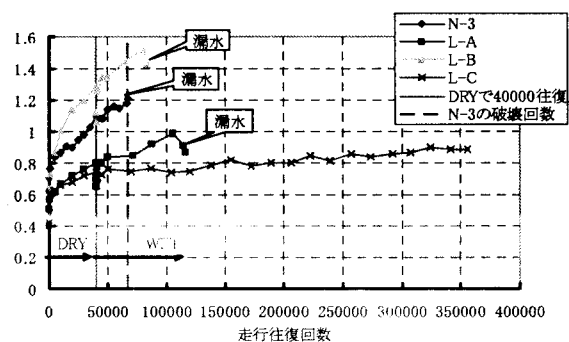


図-16 活荷重たわみ経時変動 (動的負荷供試体)

表-3 負荷後寿命と寿命増加率 (動的負荷供試体)

供試体名	疲労寿命	寿命増加率
N-3	27229	1.00
L-A	76207	2.80
L-B	44751	1.64
L-C	316226	11.61

検討する。動的負荷供試体、静的負荷供試体それぞれの床版中央の活荷重たわみの経時変動を図-16、図-17に示し、負荷後の疲労寿命及び防水工無しの比較用供試体に対する防水工供試体の寿命増加率を表-3、表-4に示す。

(1) 動的負荷供試体

防水工無しの N-3 の動的負荷後寿命と比較して、防水工を施工した床版 (L-A~C) の寿命はそれぞれ増加していることから、浸透系防水工が、あらかじめ動的負荷によってひび割れを発生させた床版の水環境下における疲労寿命を増伸させることが認められた。なお、L-A~C の 3 タイプの防水工床版の中では、L-C が 11.61 倍という大きな寿命の延びを呈した。

(2) 静的負荷供試体

防水工無しの HNC-1 の静的負荷後寿命と比較して、防水工を施工した床版 (HNC-A~C) の寿命は約 2~4 倍増加していることから、浸透系防水工が、静的載荷によって貫通クラックを発生させた床版の水環境下における疲労寿命を増伸させることが認められた。

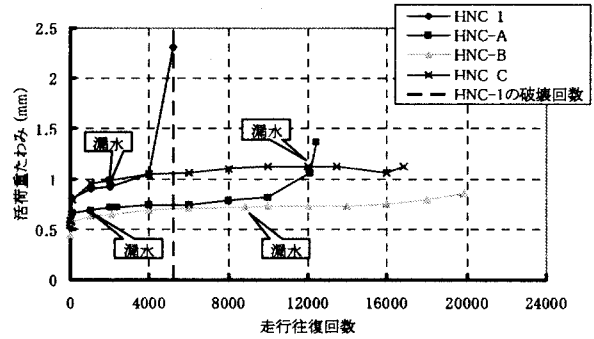


図-17 活荷重たわみ経時変動 (静的負荷供試体)

表-4 負荷後寿命と寿命増加率 (静的負荷供試体)

	供試体名	疲労寿命	寿命増加率
静的負荷供試体	HNC-1	5204	1.00
	HNC-A	12444	2.39
	HNC-B	19845	3.81
	HNC-C	16850	3.24

6. まとめ

本研究では、浸透系防水工の基本性能について、クラック部への浸透度合を調べる浸透性能試験、クラック部での引張強度、せん断強度を調べる付着強度試験を実施し、防水工の浸透効果と力学的強度性能を評価した。また、浸透系防水工を施工した、ひび割れを有する RC 床版の滞水条件下での疲労耐久性について輪荷重走行疲労試験により調査し、既存 RC 床版に対する浸透系防水工の適用性を評価した。以下に本研究の結論を述べる。

- (1) 防水工の種類により浸透深さは異なるものの、0.1mm 程度の貫通クラックに対して浸透系防水工を施工することで、平均浸透深さが 10mm 程度は確保できる。
- (2) 防水工の強度は異なるものの、防水工施工後の浸透部における引張付着強度はコンクリートの引張強度と同程度であり、せん断付着強度も十分な強度を有していることから、クラック部での補修効果はあると言える。
- (3) 浸透系防水工の防水効果は確認されたが、結果として床版の疲労寿命の向上度は防水工なしのものに比して 10 倍以上となるものが少ない。
- (4) 防水工を施した供試体の疲労寿命の差は個々の防水工材料の違いよりも、RC 床版そのものの個体差の影響が大きいようである。

7. 今後の展望と課題

今回は各材料について 1 体ずつということで、同じバッチで作った床版であったが、個体差はあると認められる。各材料毎の耐久性特性を知る必要が生じる場合には、さらに多数の実験を行う必要がある。今回の研究では基

礎的な傾向が得られたと判断している。また、付着強度試験の結果では、防水工施工後のクラック部における引張・せん断強度とも、十分な強度を有することが確認されたのに反して、疲労試験ではクラック追従性が低いと推定される結果となった。これについては、床版供試体では防水材の浸透が一樣ではなく、防水材の浸透不十分な部分が応力集中部となり、早期の劣化が起こったと考えられる。これは今後検討していく課題である。さらに、実橋では防水工の上に舗装が施設されるので、このような重層モデルによる研究も行う必要がある。

謝辞

本研究で着目した防水材料の提供・研究支援をいただいた 3 社 (電気化学工業 (株)、アトムクス (株)、日本アドックス (株)) に深甚の謝意を表する。

参考文献

- 1) 村岡大作：無機質補修材料によるひび割れ漏水部の止水に関する研究,平成 14 年度大阪大学大学院修士論文。
- 2) 松井繁之：水環境下にある道路橋 RC 床版の耐久性向上のための防水工の研究,平成元年度科学研究費補助金 (試験研究(1)) 研究成果報告書,平成 2 年 3 月。
- 3) 大江博文：輪荷重を受ける道路橋床版防水工の疲労耐久性の評価,平成 12 年度大阪大学大学院修士論文。