

## 防水工を施した床版の水環境下における疲労耐久性

Fatigue durability of RC decks covered with waterproof under water-filled condition.

大江博文<sup>\*</sup>、大西弘志<sup>\*\*</sup>、松井繁之<sup>\*\*\*</sup>

Hirofumi OE, Hiroshi ONISHI and Shigeyuki MATSUI

<sup>\*</sup>大阪大学大学院 工学研究科土木工学専攻 博士前期課程 (〒565-0871 吹田市山田丘 2 - 1)

<sup>\*\*</sup>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)

<sup>\*\*\*</sup>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)

Highway bridge decks are influenced by many deterioration factors. It is thought that the most important factors on the deterioration of decks are wheel load and water supply by rain. Recently the investigation on the wheel road is proceeding. Then the influences and the countermeasures of the wheel load become clear. On the other hand, it is well known that the penetration of rainwater into the decks shortens the life of decks. But the performance of old type waterproof is not enough to shut out water for the design life.

Then the authors carried out some wheel load running test under water filled condition on the decks covered with waterproof of new material. In this paper, the fatigue test data are reported and the performance of the new waterproofs and the requirements to keep the long fatigue life of the decks are discussed.

Keyword: waterproof, water-filled condition, wheel running test, fatigue durability

### 1. まえがき

道路橋床版はその使用環境において、様々な劣化要因の影響を受けている。その中でも、現時点で道路橋床版に与える影響が大きい要因として認識されているものに活荷重と雨水がある。活荷重に関しては、近年の研究成果からその影響の程度や対策の立て方が明らかになったと考えられる。しかし、雨水に関しては床版に浸透したときにその寿命が大幅に短縮されること、従来のアスファルト系のものやエポキシ系の防水工では寿命の確保に十分な性能を期待できない可能性が高いことはわかっているものの、防水工にどのような性能を持たせれば良いのかが明らかになっているとはいえない。そこで、本研究では近年開発された種々の防水工を施した模型床版に対して滞水状態での輪荷重走行試験を実施することで、防水工の耐久性を調査し、その結果を整理することで、どのようなタイプの防水工が床版寿命の確保に適しているのかを検討した。

桁による弾性支持とした。床版の4隅には浮き上がりを防止するため固定具を取り付けた。床版に対する防水加工は上面のみに対して行った。また、この面が常に滞水状態になるように防水工の端部には発泡ウレタン製の防水堤を設置し、試験期間中はこの内側に水を貯えることで滞水状態を実現することにした。今回の走行試験では載荷荷重を 14.7kN とし、50 万往復を目標として、供試体が破壊するまで走行を続けることを原則とした。しかし目標走行回数である、50 万往復が経過しても破壊しなかった供試体に関しては、荷重を 17kN に変更して試験を続行した。本研究で使用した小型輪荷重走行試験機の荷重移動範囲は±50cm で、走行速度は 23 往復/分であ

### 2. 実験概要

#### 1) 試験方法

今回の実験に際して採用した供試体支持条件の概要を図-1 に示す。実験で使用した床版の支持条件は長辺方向の 2 辺を単純支持、短辺方向の 2 辺を横

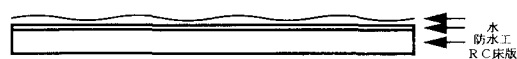
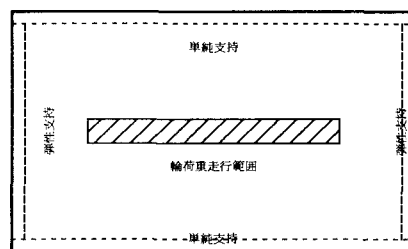


図-1. 支持条件

る。また、試験終了後に一部の床版に施された防水工に対し、付着強度の調査を行い、輪荷重による影響の確認を行った。

## 2) 供試体

供試体の寸法は 100cm×160cm で床版厚は 6cm とした。鉄筋図を図-2 に示す。また、供試体概要を表-1 に、各防水工の材料物性を表-2 に示す。

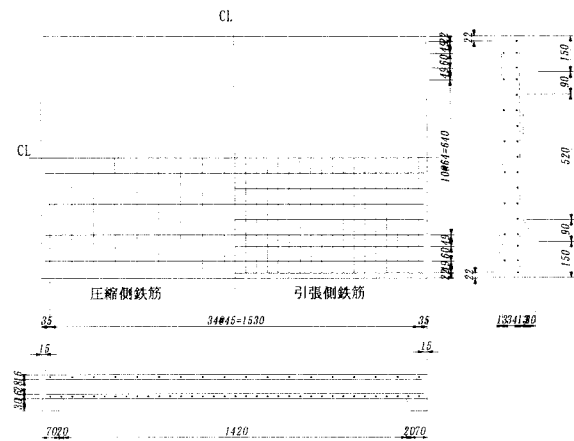


図-2. 鉄筋配置図

表-1. 供試体概要

供試体名	防水工の種類	試験環境	床版強度	荷重 (kN)
u1	防水無し	水張り	A	14.7
u2	ウレタン樹脂	水張り	A	14.7
u3	樹脂モルタル	水張り	A	14.7
u4	光硬化樹脂(高弾性)	水張り	B	14.7
u5	光硬化樹脂(低弾性)	水張り	B	14.7
u6	防水無し	乾燥	B	14.7
u7	ウレタン樹脂	水張り	A	17
u8	樹脂モルタル	水張り	A	17
u9	光硬化樹脂(低弾性)	水張り	B	17
u10	エマルジョン	水張り	B	14.7
u11	エポキシのみ	水張り	B	14.7

表-2. 防水工材料物性

	厚 (mm)	付着強度 (Mpa)	引張強度 (Mpa)	伸度 (%)
樹脂モルタル	2	1.7以上	2.55以上	-
ウレタン樹脂	2	3.75	10.86	160~563
光硬化樹脂(高)	2	-	86	1.5
光硬化樹脂(低)	2	-	22	52
エポキシのみ	2	-	14.5	89
エマルジョン	3	-	0.6	1200

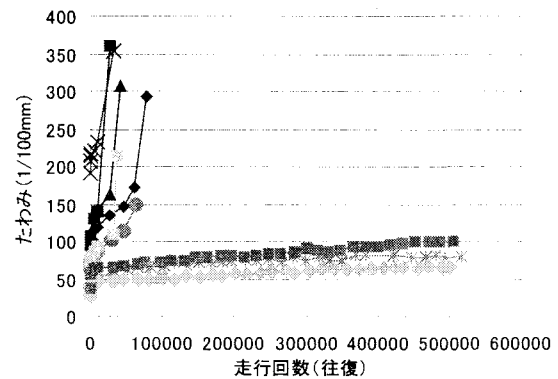
( - はデータ無し)

## 3. 実験結果

### 1) 走行疲労耐久試験

たわみ-回数曲線を図-3 に示す。曲線が大きく二つに分かれた。この原因は、母床版の性能に大きな差が生じたためであると考えられる。良好な性能を示した床版（以下母床版A）の結果を見ると、防水工なしが 10 万往復程度で破壊したのに比べ、ウレタン樹脂、樹脂モルタルの防水工を施したものは 50 万往復でも破壊に至らず、その効果が確認できた。

この2体については新たに 17kN で試験を行ったが、ウレタン樹脂の防水工を施したものは破壊しなかった。樹脂モルタルの防水工を施したものは 32400 往復で破壊した。母床版A以外の床版（母床版B）において、防水工を施した床版は、いずれも 10 万往復以下で破壊した。ここで、乾燥状態で行った試験と、防水工を施した床版の水張り試験の結果を比較すると、光硬化樹脂、エポキシ樹脂の防水工を施した床版は、乾燥状態で実施した試験結果よりも良好な疲労耐久性を示しており、防水工によって水の侵入が完全に遮断されていたと推定される。



- ▲ 防水工無し(14.7kN, 乾燥)
- ▲ 防水工無し(14.7kN, 水張り)
- ▲ エポキシのみ(14.7kN, 水張り)
- 樹脂モルタル(14.7kN, 水張り)
- × 樹脂モルタル(17kN, 水張り)
- ◆ 光硬化樹脂(14.7kN, 低弾性, 水張り)
- 光硬化樹脂(14.7kN, 高弾性, 水張り)
- 光硬化樹脂(17kN, 低弾性, 水張り)
- エマルジョン(14.7kN, 水張り)
- ウレタン樹脂(14.7kN, 水張り)
- ウレタン樹脂(17kN, 水張り)

表-3 に疲労寿命と試験終了後の防水工の状況を示す。ウレタン樹脂の防水工を施した床版は 14.7kN、17kN とともに防水工の損傷は見られなかった。樹脂モルタルの防水工を施した床版は軌道直下の防水工が押しつぶされ、左右にはみだしており、母床版上面が露出していたが、下面からの水漏れはなかった。光硬化樹脂、およびエポキシのみの防水工を施した床版は母床版がせん断破壊すると同時に防水工も押し抜かれ、下面から水が漏れていた。母床版が強ければ防水工に損傷が無かったことも考えられる。エマルジョンの防水工を施した床版は樹脂モルタル同様、軌道直下の防水工が左右にはみだしていたが、3 万往復と早い段階からその兆候が見られ、露出した床版上面のクラックから水が浸透し、破壊に至った。

実験疲労寿命の相対比較を図-4 に示す。今回の試験では母床版の性能に大きな差が生じてしまったため、直接の比較は困難である。2) そこで、母床版の強度の逆数である床版たわみの非常に初期のものに

表-3. 疲労寿命および破壊時防水工状況

	防水工	破壊回数(往復)	水漏れ	破壊時防水層状況
U1	防水無し	98531	あり	—
U2	ウレタン樹脂	500000以上	なし	破損なし
U3	樹脂モルタル	500000以上	なし	軌道直下横逃げ
U4	光硬化樹脂(高弾性)	74600	あり	軌道端部損傷(床版破壊時)
U5	光硬化樹脂(低弾性)	79100	あり	軌道端部損傷(床版破壊時)
U6	防水無し	41200	—	—
U7	ウレタン樹脂	500000以上	なし	破損なし
U8	樹脂モルタル	32400	あり	主鉄筋方向に亀裂(床版破壊時)
U9	光硬化樹脂(低弾性)	26800	あり	軌道端部損傷(床版破壊時)
U10	エマルジョン	36500	あり	軌道直下横逃げ
U11	エポキシのみ	94141	あり	軌道端部損傷(床版破壊時)

その違いが現れるので、1万回往復時のたわみと各供試体の計算使用限界疲労寿命の比較を行ってみた。水張時疲労寿命推定値上限直線は使用限界疲労寿命推定値直線を元に水張試験時の疲労寿命を推定したものである。これは防水工無しの結果を通り、使用限界疲労寿命推定値直線に平行に引いたものである。

母床版 B に比べ、母床版 A の方が疲労寿命は長い。母床版 A、B ともに疲労寿命推定値直線上に集中している。このことは、母床版 B と母床版 A の性能が同じだとすれば、B 床版を使用した防水工も A 床版を用いたものと疲労寿命がほぼ同じになる可能性を示している。また、水張時疲労寿命推定値上限直線と比較すると、いずれの供試体も疲労寿命が長くなっており、防水工の効果が確認された。

2) 付着強度試験

走行試験で防水工の損傷の無かったウレタン樹脂について、付着強度試験を行った。付着強度試験の手順は、床版上面の防水工に4×4cm角の切れ目を入れ、引張試験機を用いて垂直に引張り、その付着強度を調べるというものである。測定箇所を図-5に示す。

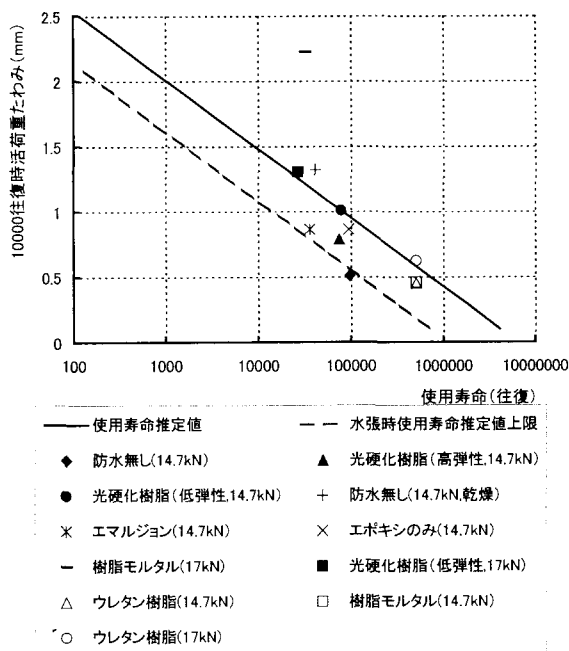


図-4. 実験疲労寿命の相対比較

疲労により床版コンクリートが弱っている場合、防水工が界面で剥離せず、コンクリート部分で破壊することがある。このように付着強度試験後の防水工試験片に付着していたコンクリートの割合を図-6に、その時の強度を付着強度として図-7に示す。

測定箇所はすべてコンクリート率が50%以上であったため、防水工自体の付着強度はわからなかった。試験終了後、コンクリートの強度に比べ、防水工が十分な付着強度を保持していたことがわかる。

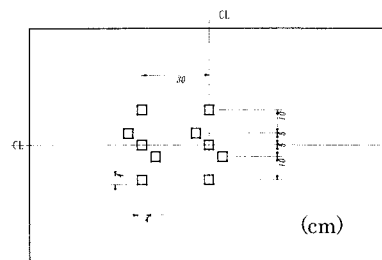


図-5. 測定箇所

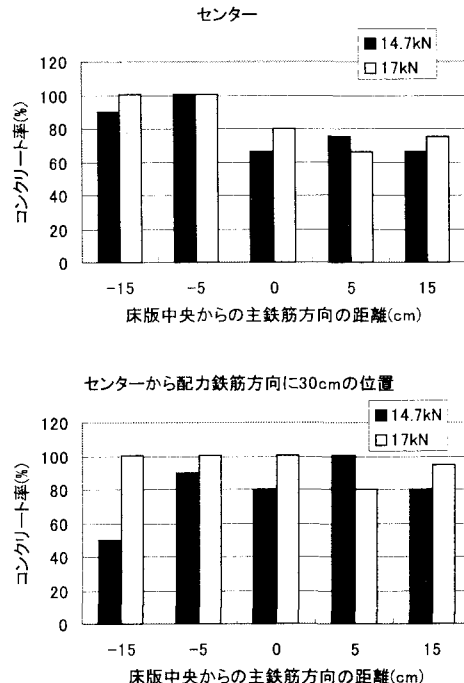


図-6. 付着強度試験後の防水工試験片に付着していたコンクリートの割合

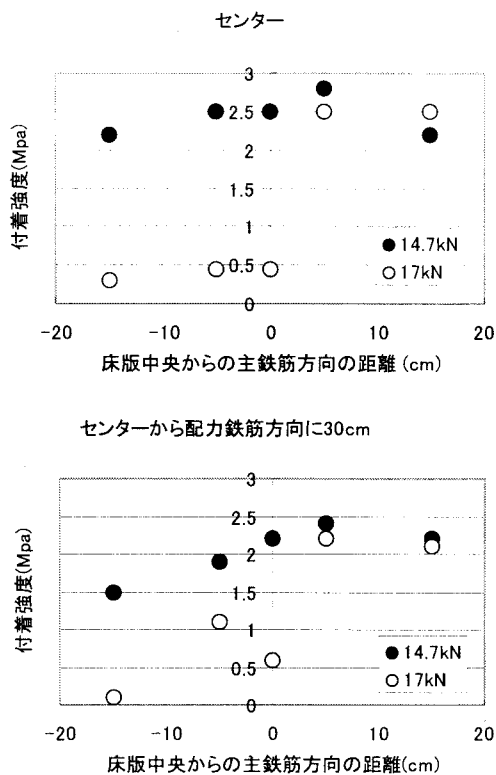


図-7. 付着強度

#### 4. RC床版の断面2次モーメント算定

今回の実験において、母床版Bの供試体はエマルジョンを除いて、すべて防水工の損傷よりも母床版の破壊の方が早かった。しかし、疲労寿命には多少ばらつきが生じた。この原因は母床版Bの中でも、床版性能に多少ばらつきがあったためと思われる。そこで、母床版Bの試験体について、各床版供試体のたわみ分布の理論値を有限要素法による直交異方性版の解析によって求め実測値と比較し、輪荷重走行載荷による断面2次モーメントの減少経過を調べた。床版の疲労寿命は使用限界までとし、そこに至るまでの断面2次モーメントを推定する。

各供試体の主鉄筋断面、配力鉄筋断面の断面量の推移を図-8に示す。主鉄筋断面はいずれも10000往復以内で断面量が使用限界に達していた。この時点で、断面2次モーメントが使用限界に達するまでの速さは、輪荷重走行前の断面2次モーメントの大きさとほぼ比例しており、光硬化樹脂(高弾性)を除いて、輪荷重走行前の断面2次モーメントが小さかった床版から破壊していた。つまり光硬化樹脂(低弾性)、エポキシは床版のわずかな初期性能の差により疲労寿命に差が生じたという結果になる。このため、防水工自体の優劣の比較は困難であった。また、光硬化樹脂(高弾性)は、断面量が使用限界に達するのは遅いが、床版破壊は早かった。エマルジョンは防水工損傷による水の侵入があったので早く破壊した。

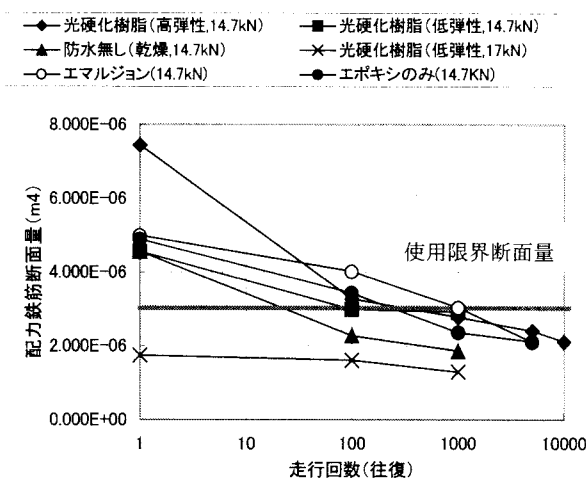
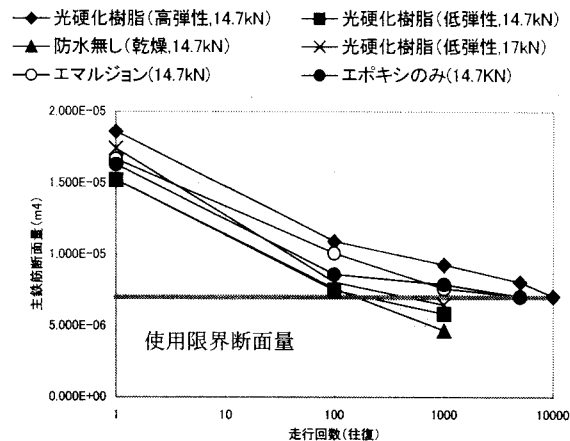


図-8. 断面量の推移

#### 結論

- 母床版Aを用いた場合、疲労寿命に明確な差は見られなかったが、試験終了後の防水工の状況から判断すると、ウレタン樹脂が優れているといえる。
- 母床版Bでも、防水工の効果は確認できた。その中でもエポキシ、光硬化樹脂(低弾性)の効果が特に認められた。また、防水工に用いる材料は、防水工が変形しない程度の弾性率が必要である。
- 母床版のコンクリート強度が異なる場合、疲労寿命推定値を用いて、疲労寿命推定値直線の値よりも寿命が長いかどうかでおおよその比較ができる。

#### <参考文献>

- 1) 水環境下にある道路橋床版の耐久性向上のための防水工の研究：松井繁之、福本晴士、大谷恭弘、園田恵一郎
- 2) 橋軸直角方向プレストレスを導入した鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性：松井繁之、大西弘志