

D-RAP 工法による補強床版の改善対策に関する研究 Study on retrofit of bridge concrete deck by D-RAP method

周 明華*, 青木 徹彦**
Zhou ming hua, Tetsuhiko AOKI

It has been 30 years since Tomei and Meisin high way had constructed. Many bridge concrete decks, therefore, have heavy damages like fatigue cracks, which are caused by increasing traffic load and many over-weighted trucks in those decades. In this report, several repairing methods for these injured concrete decks are investigated and the fatigue test results of new developed D-RAP retrofit method conducted in Aichi Institute of Technology are introduced.

1.序論

1-1 既存道路橋 RC 床版の現状

高速道路は日本経済や社会の発展活動に大きく貢献している。現地調査によると日本国内の貨物輸送に対する分担比率は自動車が約 9 割占めている。全国道路網に対する分担比率は高速道路が一般道路に比べ約 4 割を占めており、これは今後ますます増加傾向にある。高速道路や道路橋は供用 20~30 年を経過しているため老朽化が目立ち始めている。特に RC 床版の劣化、損傷は著しい。(写真-1)そのため、道路橋の維持管理上に大きな問題になっており、既存床版の維持管理は重要な課題である。⁸⁾

床版の劣化・損傷問題は、昭和 30 年代~40 年代に道路橋において RC 床版の疲労・破損事故が相次ぎ、全国的に問題となってから注目された。現行の基準による設計に比べ、旧設計基準による構造は床版支間が長い上、床版の厚さが薄く配筋が少なくなっている。さらに年々増加する交通量と車両の大型化による繰り返し荷重増が要因で、RC 床版にはひび割れ等の損傷が道路橋全体にわたって発生しているのが現状である。

すでに鋼板接着工法や縦桁増設などにより床版補強を行われているにもかかわらず、損傷が年々進行しており、著しい箇所は局部的な対症療法として部分打替工法等により補修を行ってきた。昭和 50 年代~60 年代になって床版の劣化・損傷



写真-1 床版下面のひび割れ発生状況

*東南大学 土木工程系 副教授

**愛知工業大学 土木工学科 (豊田市)

は主として、過積載車両の走行荷重に起因するひび割れの発達に加え、漏水が床版の劣化進行の大きな原因であり、疲労破壊に至ることがわかってきた。¹⁾ところが、床版の損傷が広範囲におよんでいる現状では、これらの局所的な工法では対処できなくなっており、抜本的な補強が必要となってきた。

平成 5 年になって、道路橋示方書が改訂され、床版設計の基準であるトラック荷重が 20tf から 25tf までに引き上げられた。以上のような状況を考慮すると、今後とも劣化・損傷は増加するといえる。よって道路橋の交通、日程などの制約条件の中で、いかに迅速で効率的かつ適切な補強および補強工法を考え出すかは現在の重要な課題である。

1・2 既存床版の損傷機構と劣化原因

(1)RC 床版の損傷機構

RC 床版の損傷機構は、現在までに数多くの調査、研究で明らかになってきた。その損傷機構は、図 1-1 に示すように進行すると考えられている。

(2)床版の劣化原因

RC 床版の主たる劣化、損傷原因は、以下の要因が考えられる。

① 設計条件として¹⁰⁾

- a) 床版の厚さの不足:昭和 46 年の道路示法書改訂以前に設計、施工された RC 床版は原行の示法書よりスパンが大きくかつ薄いものが多い、このような床版は大型車両の走行によってひび割れが発生しやすい。
- b) 配筋の不足:昭和 42 年の示法書以前に施工された RC 床版は配筋が 25%と現行基準の 1/3 ~1/4 程度であるため、床版上面に橋軸直角方向のひび割れが生じやすくなる。
- c) 配筋の曲げあげ位置の不適切による鉄筋量不足。

② 施工、材料面として

- a) コンクリートの品質不良、コンクリート打設時の締め固め不良などは、初期乾燥収縮によるひび割れが発生しやすくなった。¹⁰⁾
- b) ひび割れへの雨水の浸透、水の浸透状況下での床版疲労耐力は静の耐力の 30%程度に低下する。^{10),17)}

③ 荷重条件として

- a) 過大な輪荷重:過積載車両の走行が大きな原因である。
- b) 交通量の増大:特に大型車両の増加がみられ

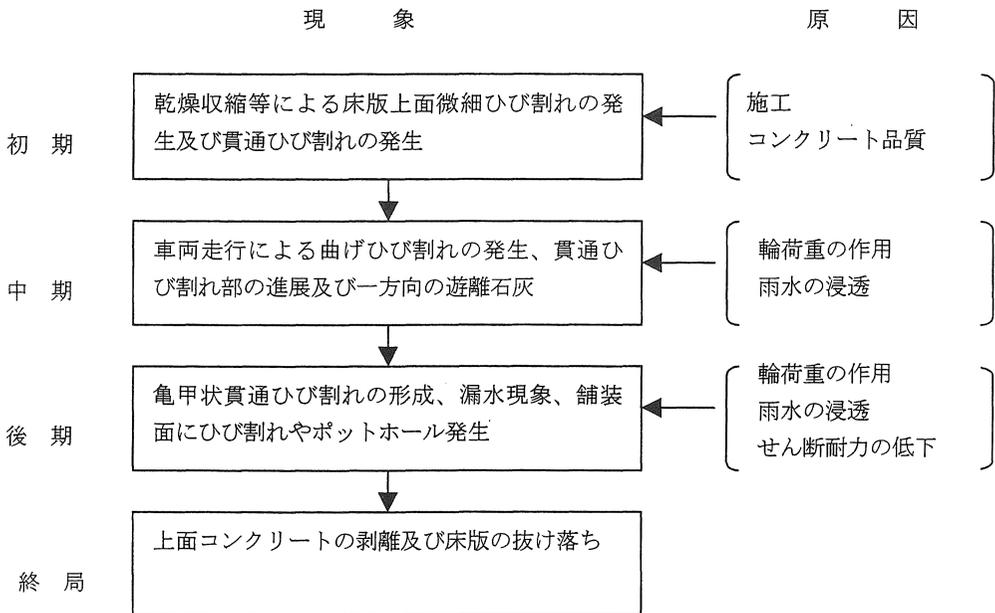


図 1-1 RC 床版の損傷機構

る。現地調査によると東名高速道路は供用時の交通量は 23,000 台/日である。しかし、1990 年平均断面交通量約 73,000 台/日であり、大型車両混入率約 40%である。交通量は供用時により 3.2 倍である。^{8),10)}

- c) 設計全応力に活荷重応力の占める割合が高く、これらの損傷は疲労であると認識されている。過大な荷重の載荷通行頻度の増大が床版被害をもたらしているのは明らかである。^{4),10)}

1.3 改善の方法と対策について

RC 床版の疲労に対して検討しなければならないことは、車両走行に伴う両振りのせん断力(即ち正と負のせん断力が交互に発生する応力変動が激しいもの)とその両振りのせん断力による既存クラックのこすりあわせを促進する雨水の 2 つの事項であると考えられる。

床版の下面(引張り側)のクラック発生、進行そして抜け落ち損傷事故防止のみの補強として、従来鋼板接着工法や縦桁増設工法のような曲げに対しての補強が行われた。引張り側は鉄筋のみが受け持ち、コンクリートの強度を無視しているので鉄筋を腐食させないようにすることが大切である。曲げ引張りによる補強のために高強度の材料により床版上面が增厚されること、クラックの成長を促進し鉄筋を腐食させる雨水を防ぐことが重要であるから、防水処理加工した高強度で増厚し防水性のもので接着する補強工法を考えなければならない。

2. RC 床版の各種補強工法の比較

ここでは、従来の RC 床版の補強工法として代表的な鋼板接着工法、縦桁増厚施工法、PSR 接着工法(床版下面増厚工法)、床版上面増厚工法、パネル接着による補強工法について、a)補強効果、b)問題点から比較検討していくことにする。^{2),3),12),16)}

2.1 鋼板接着工法

コンクリート部材の主として引張り面(床版下面)に鋼板を接着し、既存のコンクリート部材と一体化させて、活荷重に対する抵抗力を増大させる補強工法。

a) 補強効果

押し抜きせん断力について 20~30%の増加が期待できる。また床版の曲げ耐力を増加させ損傷部の抜け落ちを防止できる。¹⁹⁾

b) 問題点

補修後の損傷の進行を観測し難い、水が床版下面に浸透する恐れがある。

2.2 縦桁増厚施工工法

この工法は、床版を支持する既存の主桁の間に新たに立て桁を増設して床版を支持させ、支間を短縮させることにより床版の作用曲げモーメントの減少をはかる補修工法。⁶⁾

a) 補強効果

RC 床版の主鉄筋方向、および配鉄筋方向の作用曲げモーメントが減少する。

b) 問題点

配鉄筋不足型の床版(昭和 42 年の設計規準改訂以前のもの)では、縦桁増設後においても配鉄筋方向のモーメントが、配鉄筋量に対してなお過大なままで、そのため縦桁増設後においても配鉄筋量不足型のひび割れ(配鉄筋直角方向)が進行してしまう。この場合鋼板接着による補強を併用するのの一つの方法である。

2.3 FRP 接着工法(床版下面補強)

鋼板接着工法の鋼板の代わりに FRP シート(ガラス繊維で補強したプラスチックシート)を接着して、既存部材と一体化させる補強工法。^{2),3)}

a) 補強効果

コンクリートの剥離などによる、コンクリート片の落下を防ぐなど、一種の保護の役割を期待するような場合に用いるのが適当である。

b)問題点

FRP は鋼板に比べてはるかに柔軟でコンクリート面の不陸にも馴染みやすく、施工上取り扱いやすい材料であるが、弾性係数がコンクリートのそれより小さいので、コンクリートのひび割れ再発防止などを目的とするには難がある。

2.4 PSR 工法(床版下面増厚工法)

この工法では、既設床版下面に配置した補強鉄筋を、付着力に優れた PAE 系特殊ポリマーモルタル(即ち PP モルタル)で塗り込めることによ

て既設床版と合成し床版剛性を向上させる補強工法。⁹⁾

a) 補強効果

静の載荷試験によると増厚部と既設床版との合成による剛性の向上を補強の効果が確認できた。走行試験時において、上下方向に見られるひび割れ面相互間の大きな三方向変位の動きを下面増厚によって大きく低減させたことを確認し、なお、残留変位も解消し、疲労に対する安全性が大幅に向上しているものと推定できる。

b) 問題点

本工法は、増厚部を全体で 7 層に分割して施工するものである。PP モルタル層あたりの層厚を厚くした場合に、自身の自重に絶えきれず剥離、落下する危険性がある。使用本工法の実橋に現時点においては大きく疲労耐久性が向上していると言える。今後は、経年による材料の環境劣化に起因する補強効果の程度の変化を継続的に観察していく必要がある。

2・5 床版上面増厚工法(鋼繊維補強コンクリート打設を行う)

この工法では、老朽化した既設コンクリート床版を傷つかないようにアスファルト舗装を撤去し、鋼繊維超硬速コンクリートの打設を行い新旧コンクリートを一体化させ増厚を補強工法である。²²⁾

a) 補強効果

床版の有効厚さが大きくなるため、曲げ耐力の向上のみばかりか、せん断力の向上効果も大きい。有効厚増加に伴い剛性も増加するため、すりみがき作用を防止し、防水効果が期待できる。増厚による疲労寿命は、松井らの論文によると大きな効果が確認されており、さらに鋼繊維コンクリートは内部ひび割れを鋼繊維が拘束するため、疲労寿命を延ばすことができる。

b) 問題点

交通規則が必要となること、旧床版と増厚コンクリートの付着が最大の問題であること、また場合によっては伸縮装置の付け替えが必要となってくる点が問題点とされる。

2・6 D-RAP 工法(床版上面増厚新工法)

この工法では、老朽化した既設 RC 床版を傷つ

けないように、舗装を取り除いて既存のクラックや欠陥部を修復した後、鉄筋コンクリートと同等以上の強度を有するプレキャスト板をエポキシ樹脂接着剤で二層に張り合わせる新しい補強工法である。^{15),20)}

a) 補強効果

平成 4 年からに行われた実物大スラブの疲労実験によると、補強効果として最大荷重が約 16% 増加し、また剛性の増加がみられた。¹¹⁾

b) 問題点

プレキャスト板の目地部が弱点になってあること、エポキシ樹脂の夏期の高温下における強度特性の低下、現場施工基面の不陸、接着剤は不完全な接着は、施工上不可抗力で入る気泡の影響等がある。なお、施工の雨水は、接着面の水による非接着影響である。

2・7 まとめ

前述のように様々な補修工法があるが、RC 床版を補修の効果は活荷重による発生曲げモーメントを軽減し、疲労耐荷性能を向上し、ひび割れ進行を抑制する。しかし、既に発生したひび割れをなくすことは不可能であるため、ひび割れへの雨水の浸透防止を既に発生したひび割れを無くすことは不可能であるため、ひび割れへの雨水の浸透防止は重要である。ひび割れへの水の浸透は、RC 床版の劣化、損傷の進行速度に重大な影響を与えていることは明らかである。そのため、各種補強工法に防水処理が効果的であること明らかにすることが必要になっている。

これらの工法に比べ床版上面増厚工法は、既設上面のコンクリートの劣化部分を取り除き、新しく増強部材を一体化する工法であり多くの補強効果が文献(11),(13),(15)などによると確認されている。防水効果が期待できる。そのため、現在はこの工法に最も多くの補強工法を応用している。ただし、この工法の問題点に今後は、改善の方法や、供用後の管理などを検討する必要がある。

3. D-RAP 新工法による補強床版の改善点に関する研究開発を進めて

3・1 D-RAP 工法の定義

床版上面増厚工法の新たな工法としての D-

RAP 工法とは Deck(床版)Restoration(復旧)by Double(二重)Adhesive(接着)Panel(板)の略であり、図 3-1 に示すように劣化した既設コンクリート床版にプレキャスト板を 2 層以上のエポキシ樹脂接着して増厚を行う床版補強工法で定義する。

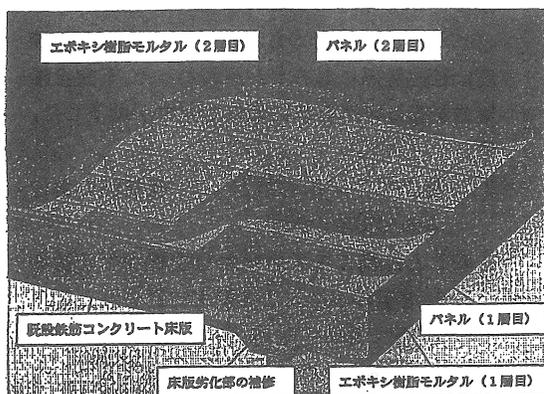


図 3-1 D-RAP 工法断面図

日本道路公団では D-RAP 工法を平成 5 年度から東名自動車道で現地施工を実施している。(写真-2)

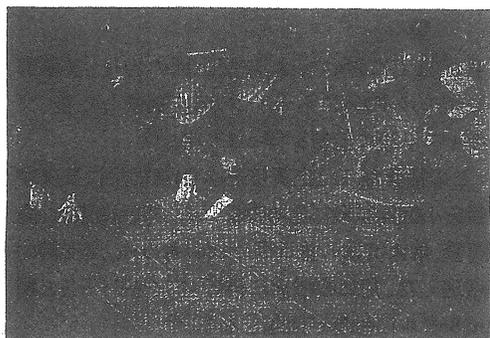


写真-2 施工状況

3・2 補強床版を供用後の損傷に関する調査

日本道路公団名古屋管理局において D-RAP 工法を実施箇所(東名自動車道の志段味高架橋)で、その工法の補強効果を調査している。調査結果にするものである。²⁰⁾

(1) 供用後の損傷発見状況

供用後約 1 年 3 ヶ月後にアスファルト舗装に直径 40cm 程度のポットホールが 1 箇所とその周辺に数か所のひび割れが発生した。その損傷は、走行車両の車輪下に点在している状況であった。(写

真-2)

(2) 損傷原因

開削調査の結果、橋架地覆や舗装の施工継ぎ目等から浸透した雨水をプレキャスト板が吸水したことによって、層間剥離が発生して板自体の強度低下したことと、接着剤の充填不足が主な原因と推定された。(写真 3)



写真-3 プレキャスト板損傷状況

(3) 再補修後の再度損傷について²⁰⁾

補強後損傷しているプレキャスト板を撤去し、撤去部分に樹脂モルタルを充填した後、メンブレ(エポキシ系装布型防水材料)によって防水処理を行い舗装を復旧した。ただし、補修した数ヶ月後に再度同じ箇所損傷が発生した。分析は雨水の影響は主な原因とされる。今後には防水対策を採用する、防水効果が期待できる。

3・3 D-RAP 工法での各種問題点を実験で確認したもの

既存の実験結果をまとめる。(平成 4 年から平成 8 年まで)

(1) 接着剤(エポキシ樹脂)の温度変化による影響

エポキシ樹脂は硬化後でも外気温 40~60°C での強度、弾性係数が低下する。(図 3-2)

このことが、小型ばりの供試体で実験を確認した。結果としては 60°C において、最大耐力で約 10% の減少となった。(図 3-3)²¹⁾

(2) 不完全な接着体についての強度影響を確認する。

現場施工面の不陸および、施工上不可抗力で入る気泡の影響などにより考えられる。接着率の変

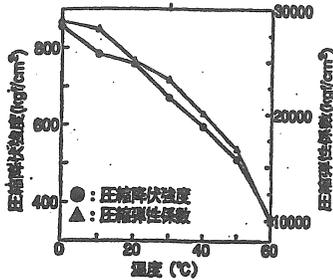


図 3-2 エポキシ樹脂の温度変化による影響

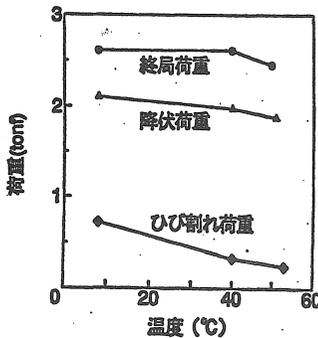


図 3-3 温度変化による強度比較

化(接着率 25%,50%,75%,100%)について比較した。²¹⁾

- ① 小型梁供試体不完全接着影響度実験では接着率が 75%と 50%では最大荷重にはっきりとした差はでなかったが、接着率 25%において特に横方向に約 10%の耐力の低下がみられた(図 3-4)²¹⁾

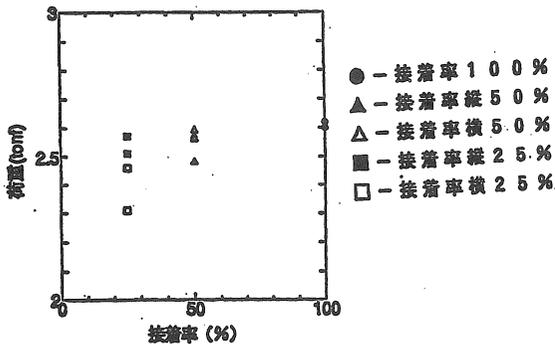


図 3-4 接着率による強度比較

- ② 小型スラブ供試体不完全接着影響度実験では接着率 50%では影響のないものの接着率 25%において耐力の低下が約 10%みられた²¹⁾。

- ③ 小型せん断供試体引張試験では実験結果を表 3-1,3-2 と図 3-5 に示す。破壊形式は全てスレート板の層間剥離であった。よって、D-RAP 工法のプレキャスト板との剥離の可能性があなどれないことが認められた。また、接着率と強度は線性関係にあることがわかった。不完全接着の影響は破壊形状に変化し耐力が低下した。¹⁵⁾

- (3) 施工中の雨水対策として、接着面の水による非接着の影響

このことは施工中の雨水対策を現場の状況を考慮し、接着面の水による非接着の影響を小型梁供試体の実験で確認する。接着剤一層目において、さっと拭いた場合の平均表面湿度は 11.9%であり、ブローして表面乾燥をした場合は 6.8%、乾燥した状態は 3.1%であった。実験結果はブローした場合に終局荷重と最大変位の低下が認められた。そのため、D-RAP 工法の施工時に降雨などの水の影響を考慮する必要がある。²⁰⁾

- (4) 施工時において樹脂モルタルの補修の影響

現場施工においては、床版上面の劣化、損傷部を樹脂モルタル(にらモルタル)で補修した後、プレキャスト板の接着を行っている。²⁰⁾

この補修が D-RAP 工法の補強効果に及ぼす影響を小型梁試験による確認した。実験結果は、降伏荷重、最大荷重の差は現れないものの、変形能力が増加した。変形の増大に伴いコンクリートと樹脂モルタルの付着が問題となる。²⁰⁾

3・4 D-RAP 工法による大型補強床版の疲労強度を実験の研究

3・4・1 本研究の目的

D-RAP 工法は劣化、損傷を受けた既設高架のコンクリート床版補強がに現地調査によると供用後 1 年頃に再度損傷の原因を路上の雨水の床版内部への浸透した層間剥離が発生した、接着剤の充填不足が、板自体の強度が低下することがある。この工法では、耐水性が十分でなく、水の侵入により床版の劣化を防ぐのが困難である。以上のことにより防水処理加工した高強度の接着剤樹脂を充

表3-1 静的せん断試験結果

供試体番号	区分	破壊荷重	平均	強度比較
A1	接着率100%(繊維縦方法)	11.25t	10.49t	1.00
A2	"	9.73t		
A3	接着率100%(繊維横方法)	10.29t	10.08t	0.99
A4	"	9.87t		
B1	接着率75%	8.03t	9.15t	0.87
B2	"	10.26t		
C1	接着率50%	8.76t	8.92t	0.85
C2	"	9.08t		
D1	接着率25%	8.40t	7.75t	0.74
D2	"	7.09t		

表3-2 平均せん断応力度

供試体区分	平均せん断応力度
接着率 100%	17.5 Kgf/cm ²
" 75%	15.3 "
" 50%	14.9 "
" 25%	12.9 "

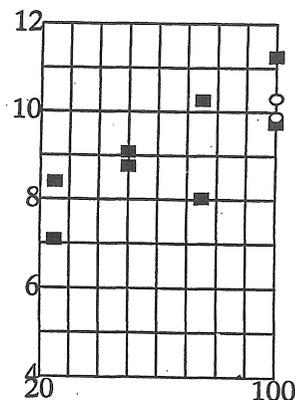


図3-5 引張試験結果

填することが考え出された補強工法である。この新しい補強工法の床版疲労強度を実験的に求めることを目的としている。

3・4・2 実験計画および方法

(1) 実験供試体

実験に用いた床版供試体は、工場で作られた制作床版5体である。この供試体の配筋および形状・寸法等を表3-3に示す。それぞれの供試体の記号および厚さを表3-4に示す。老朽化した床版を再現するため、供試体のコンクリートは低品質とした。コンクリートの性質はJIS A 5308 レディーミクストコンクリートを適用して表3-5に示す。

(2) 実験内容

実験は無補強床版供試体とプレキャスト板補強床版供試体に静の荷重載荷試験と疲労試験を行う。それぞれの実験計画を表3-6に示す。床版ごとの静的破壊荷重の値を表3-7に示す。

(3) 実験装置および載荷方法

床版の支持は実験供試体の長辺をスパン 1.5m で単純支持し(支点下にφ40mmのローターを挿入、内側のみに移動できるようパネルで固定する)、他の2辺は自由とし、すなわち一方方向スラブとし鋼桁支持台に据え付ける。載荷板の寸法は道路橋示方書に定める大型車両の後輪荷重幅である20×50cm相当の鋼製載荷ブロックの下面に10mmの木板を貼り付けて載荷試験を行う。使用する試験器はMTS社製の電気油圧式制御50tf×2基(2点独立アクチュエーター式)を有する構造用疲労試験機です。実験装置を図3-6に示す。

載荷方法は疲労試験載荷方法で交通荷重をシミュレート化した2点独立載荷を交互に繰り返す載荷方法とする。また、疲労試験は荷重制御による正弦波で行う。試験周波数は1.2~4Hzとする。

静の載荷試験は載荷方法で繰り返し載荷前と

表3-3 供試体寸法諸元

	寸法(cm)		厚さ(cm)	鉄筋		鉄筋純かぶり厚さ(cm)
	橋軸直角方向	橋軸方向		橋軸直角方向	橋軸方向	
無補強床版	1.8	3.3	20	D16	D13	3
			22			
補強床版	1.8	3.3	17+3	D16	D13	3

表3-4 記号および厚さ

供試体名	K1	K2	K3	K4	K5
厚さ(cm)	17+3	20	22	17+3	20

表3-5 コンクリート性質(K4,K5)

セメント種類	材令7日 圧縮強度 (Kgf/cm)	粗骨材の 最大寸法 (cm)	スラブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)
早強ポルトランド セメント	180	25	8±2.5	4±1

※K1,K2,K3のコンクリート圧縮強度は296Kgf/cm²で材令150日。

表3-6 実験計画

供試体の種類	試験目的	数量	摘要
無補強床版	2点載荷による 繰り返し疲労試験	3	水張り無しとする
補強床版(抄造 スレート板)	"	1	水張り状態とする
補強床版(押出 成形スレート板)	"	1	"

表3-7 静的破壊荷重値 Ps

供試体の種類	K1	K2	K3	K4	K5
強度(tf)	67.7	71.1	78.9	67.7	71.1

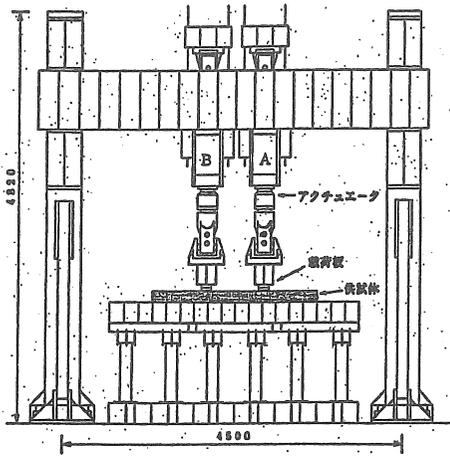


図 3-6 実験装置の正面図

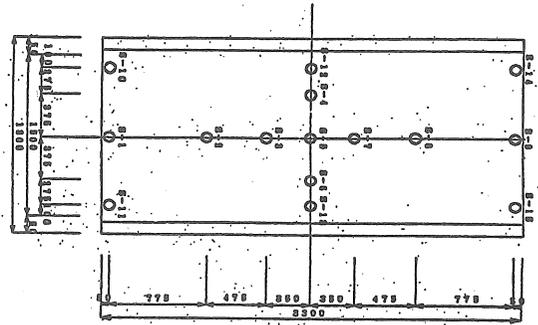


図 3-7 たわみの測定位置

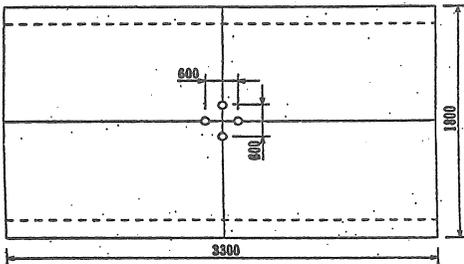


図 3-8 鉄筋上のひずみゲージ位置 (床版上面図)

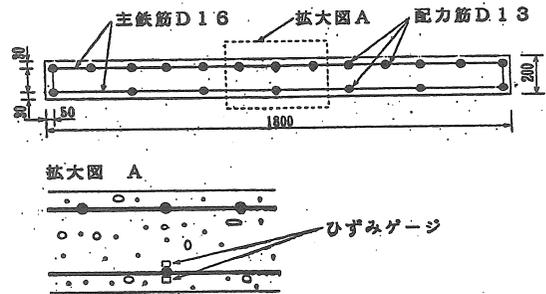


図 3-9 ひずみゲージ貼り付け位置 (床版側面図)

50 万回ごとの繰り返し載荷後に、4tf づつ 40tf まで載荷し、たわみとひずみのデータを取り、荷重を 40tf がかかったままの状態でも床版のひび割れ状態を記録し、また 40tf から 4tf づつ 0tf までのたわみとひずみのデータを取る。たわみの測定位置を図 3-7 とひずみゲージの位置を図 3-8 から図 3-9

に示す。

3・4・3 実験結果および考察

(1) 疲労試験結果

- ① K1 補強床版(抄造スレート板)は、 $P=0.55Ps(=37tf)$ の載荷で 200 万回までは、異常はなく、 $P=0.65Ps(=44tf)$ に上げて 5 万回程

度まで載荷したときに 44tf が維持できなくなり、また床版下面に水がにじみ出した。これにより、水が浸み込んでから疲労強度が弱くなり繰り返し回数が 1/80 になった。荷重制御により実験を継続したところ、水漏れがひどくなると同じくらいに 11.5 万回で破壊に至った。破壊形状は押し抜きせん断破壊だった。

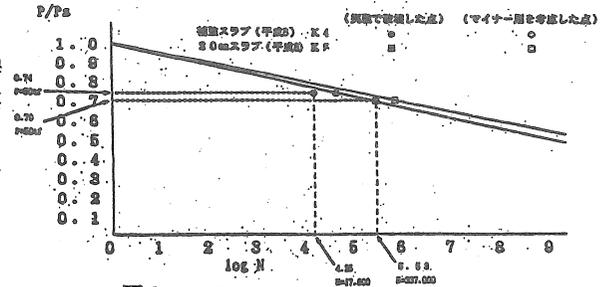


図 3-11 S-N 曲線のグラフ (平成 8 年度)

- ② K2 無補強床版 (厚さ = 20cm) は、 $P=0.52Ps(=37tf)$ で 200 万回まで行い、 $P=0.62Ps(=44tf)$ に上げて 150 万回まで載荷しても破壊する兆候がなかったので $P=0.70Ps(=50tf)$ まで荷重を上げて載荷を続けた結果、25 万回で押し抜きせん断破壊した。
- ③ K3 無補強床版 (厚さ = 22cm) は、 $P=0.47Ps(=37tf)$ で 200 万回、 $P=0.56Ps(44tf)$ で 200 万回、そして試験機の容量の最大荷重である $P=0.63(=50tf)$ まであげて 300 万回まで載荷を行ったが、床版の破壊まで至らなかったため、載荷を中止した。
- ④ K4 補強床版(押出成形スレート板)は、 $P=0.65Ps(44tf)$ で 200 万回まで行い、 $P=0.74Ps(50tf)$ で 1.8 万回の時に、押し抜きせん断破壊した。
- ⑤ K5 無補強床版 (厚さ = 20cm) は、 $p=0.62Ps(=44tf)$ で 200 万回、 $P=0.70Ps(=50tf)$ で 33.7 万回の時に、押し抜きせん断破壊した。

(2) S-N 曲線についての考察

- ① K1 補強床版(抄造スレート板)については、S-N 曲線とマイナー則の適用によりはじめてから $P=0.65Ps(=44tf)$ で載荷していれば 17.8 万回で破壊したことになる。

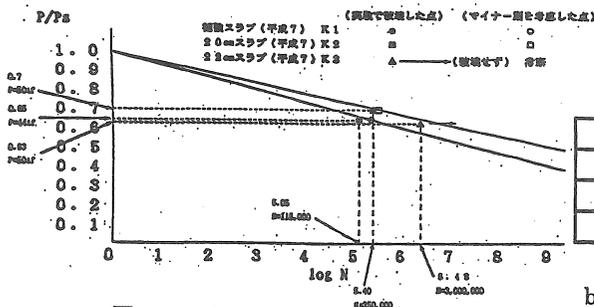


図 3-10 S-N 曲線のグラフ (平成 7 年度)

- ② 同様に、K2 無補強床版(20cm)にはじめてから $P=0.7Ps(=50tf)$ で載荷していれば 30 万回で破壊したことになる。K4 補強床版(押出成形スレート板)に $P=0.65Ps(=44tf)$ で載荷していれば 281.8 万回で破壊したことになる。K5 無補強床版(20cm)に $P=0.7Ps(=50tf)$ で載荷していれば 39.8 万回で破壊したことになる。K3 は無補強床版に対して、試験機の最大荷重である 50tf にて 300 万回まで載荷を行ったが、床版の破壊まで至らなかったため、S-N 曲線図には参考までに点をプロットしてあるが、22cm のスラブは破壊に至るまでは疲労試験のそれぞれの床版の S-N 曲線を図 3-10、図 3-11 に示す。

③ 既存 S-N 曲線図による疲労強度の比較²³⁾

- a) 疲労荷重試験のサイクルについて
過去の疲労試験は試験周波数 1~3Hz で実施されている。平成 7 年度の試験周波数を表 3-8 に示す。平成 8 年度、K4、K5 は、平成 7 年度と同じサイクルでおこなった。平成 7 年度と平成 8 年度の実験は過去の実験より載荷速度を速くして行ったため、はっきりしたことは言えないが、ピークロードの載荷時間が短くなったと考え、過去の実験データより疲労強度がやや大きくでる傾向にあったかもしれない。(図 3-12)

表 3-8 各試験周波数

	37tf	44tf	50tf
K1	4Hz	4Hz	—
K2	4Hz	3.5Hz	1.5Hz
K3	4Hz	3.5Hz	1.3~1.7Hz

b) 予備載荷について

今回の疲労供試体についても、過去のものと同様に 40tf の予備載荷を行っている。制作した RC 床版のばらつきを少なくするために、5 体

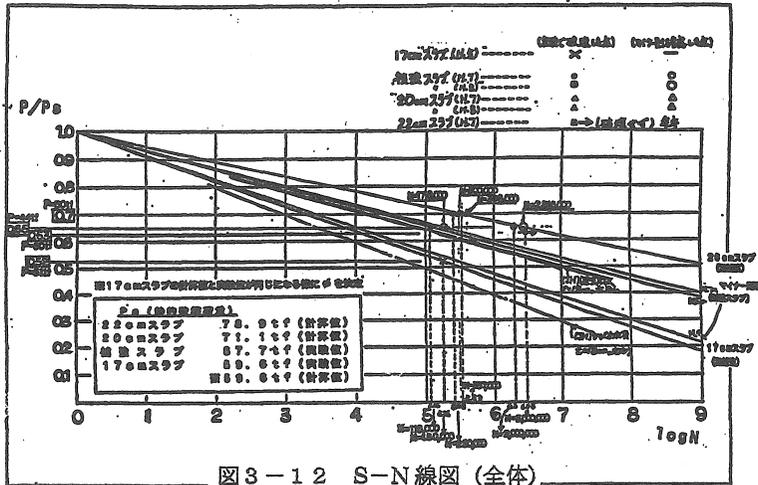


図 3-12 S-N 線図 (全体)

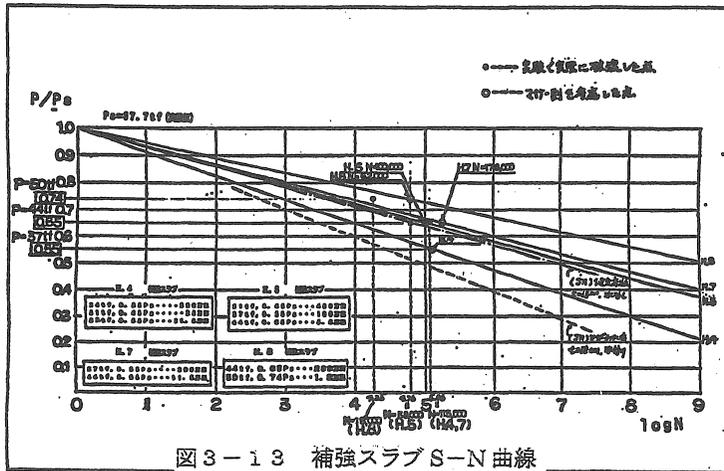


図 3-13 補強スラブ S-N 曲線

とも床版厚に関係なく 40tf の載荷を行った。載荷点は 1 点とした。

ただし、この実験シリーズの初年度(平成 4 年度)の補強床版のみ、初期載荷を 47tf まで載荷しており、これがどの程度疲労耐力に影響を及ぼすかは判らないが、他の 2 体の試験結果と比べて S-N 曲線図が下にでる傾向にあるかもしれない(図 3-13)。

(3)床版のたわみのグラフと考察

載荷 0~4tf に 50,100,150,200 万回ごとの静的載荷によるたわみのグラフを図 3-12 に示し、そのたわみの傾きのグラフを図 3-13 に示す。繰り返し荷重を 50,100,150,200 万回と加えていくと傾きのグラフでわかるように、床版の剛性がだんだん弱くなっているのがわかる。

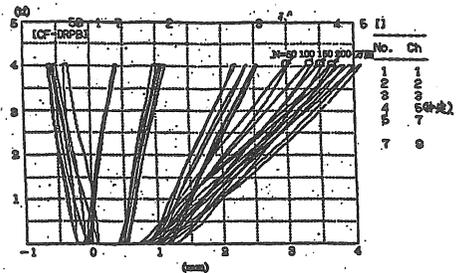


図 3-14 繰り返し載荷 50,100,150,200 万回ごとのたわみのグラフ

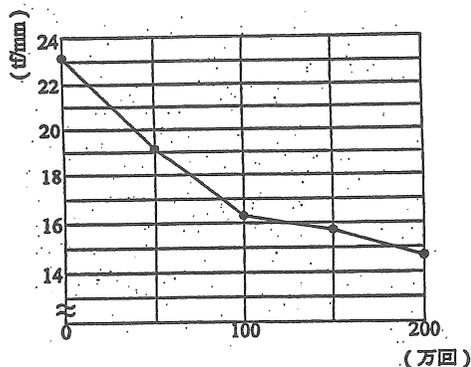


図3-15 繰返し載荷 50,100,150,200万回のと看曲げ剛性のグラフ

(4) 床版のひび割れの考察

床版 5 体とも、似たようなひび割れで、載荷板の真下からひび割れが伸びてきたので、載荷板の形に押し抜きせん断破壊の予兆がでていたことがわかった。また、ひび割れの最終状況を図 3-14～図 3-18 に示す。

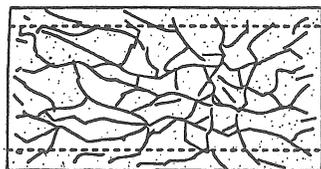


図3-16 プレキャスト補強床版 (1.7+3 cm) H7年



図3-17 無補強床版 (20 cm) H7年

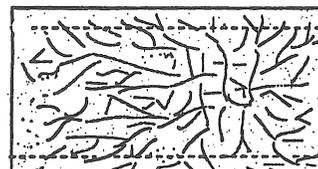


図3-18 無補強床版 (22 cm) H7年

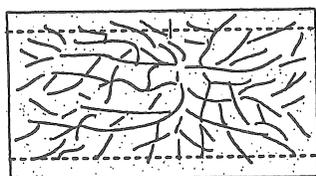


図3-19 プレキャスト補強床版 (1.7+3 cm) H8年

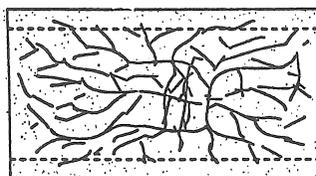


図3-20 無補強床版 (20 cm) H8年

4. 結論

- (1) 平成 8 年度 D-RAP 補強床版(K4)破壊点は、無補強床版(K2,K5)の破壊点と S-N 曲線と一直線上となるので、ほぼ同等の疲労耐力であるということがわかる。よって、D-RAP 工法は耐水性および疲労耐力に十分な効果があるといえる(図 3-12)。
- (2) 平成 7 年度 D-RAP 補強床版(K1)は、水が床版に浸みこんだ時点から破壊点までの繰返し回数を 80 倍すれば、K2,K4,K5

と同等の疲労耐力といえる。

- (3) 床版に水が入って疲労を受けたときに、クラックの摺り合わせを促進することが確認でき、D-RAP 工法においても、目地部などは入念な施工を行って隙間を作らないようにして水の侵入を伏せぐことが大切であると考えられる。

(4) 防水対策について提言

a) 使用材料の改善

プレキャスト板の耐水性を高めるために、接着剤樹脂で完全防水処理し、吸水率を 2%以下にし、また、モルタルの充填をより確実にするために空気穴の数を約 3 割増やした²²⁾。なお、施工中雨水対策を現場の状況を重視し、接着面の水による非接着の影響を考慮し、接着剤樹脂の温度変化による影響を測定する必要がある。

b) 防水層の設置

プレキャスト板への水の浸透を防ぐために、D-

RAP の上面に塗膜系の防水処理を行った。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団:道路橋 RC 床版のひび割れ損傷と耐久性,PP.3~6,1991.3.
- 2)小松・飯東:道路橋床版の変状と補修工法、コンクリート工学 VOL.31.NO.7.PP.43~47.1993.7.
- 3)太田・飯野:道路橋の補修、補強、コンクリート工

学 VOL.14.NO.12.PP2~14.1976.12

4) 松井、前田:道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一案、土木学会論文集、第 374 号 PP.419~426.1986.10

5) 江村、河合、堀川、園田:道路橋 RC 床版の損傷度判定における項目の評価について、土木学会第 47 回 年次 学 術 講 演 概 要 集 .PP1183 ~ 1184.1992.10

6) 松井、木村:増設桁 2 法による補修床版の疲労耐久性について、土木学会第 49 回 年次 学 術 講 演 概 要 集、PP1188~1189.1992.10

7) 石井、国原、渡辺、吉賀:東名高速道路における構橋 RC 床版の損傷の経年変化、土木学会第 49 回 年次 学 術 講 演 概 要 集 .PP684~685.1994.9

8) 石井、篠原:東名高速道路の交通荷重測定と荷重特性について、土木学会論文集、NO.453. VI-7. 1992.9

9) 軽尾、末田、松井、財津:PP モルタルを用いた下面増厚工法の床版補強効果確認実験、橋梁と基礎 97-5.PP23~29

10) 石井、松井ほか:23 年供用した RC 床版の損傷実態・残存疲労寿命と維持管理との関係に関する基礎的研究、土木学会論文集、NO.537/ I - 35,155~166.1996.4

11) 安井、江口、青木、小柳、松島:供用後 60 年経過した RC 床版に対する D-RAP 工法と疲労試験、土木学会第 50 回 年次 学 術 講 演 概 要 集、336~337.1995.9

12) 飯束、木曾ほか:損傷床版の各種補強工法に関する試験、土木学会第 47 回 年次 学 術 講 演 概 要 集 I -150.PP1194~1195.1992.10

13) 梅原、石神、檜見:増厚した鉄筋コンクリート床版の力学の挙動に関する研究、土木学会論文集、NO.451V-17. PP89~98. 1992. 8

14) 縦山、稲経、江口、鏡原、小柳:RC 床版補強工法におけるセメント系床版下面充填材の研究、土木学会論文集 NO.567. VI-35.PP103~116.1997.6

15) 安井、江口、青木、小柳、野村:D-RAP 工法と小型せん断試験、土木学会第 51 回 年次 講 演 概 要 集、I -A490.PP980~981.1996.9

16) 西田、大橋:東名高速道路における橋梁床版上面増厚について、橋梁.PP44~52.1990.4

17) 松井:移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学年

次論文報告集、VOL.9-2.PP698~699.1987

18) 日本道路公団名古屋管理局桑名管理事務所、東名阪自動車道三滝川橋床版上面増厚 2 法の効果確認調査報告書、1996.7.

19) 山本、飯束、木曾:鋼板接着した鋼橋床版の耐久性評価に関する試験、コンクリート工学年次論文報告集、VOL.14.NO.2.PP993~998.1992.

20) 藤田、清水、片山:床版補強工(D-RAP 工法)の施工について、大林道路株式会社、技術報、NO.27.1997.3.21

21) 村山貴之:パネル接着によるスラブの補修工法、岐阜大学工学部土木工学科コンクリート研究室(研究報告)H6 年 2 月

22) 日本道路公団東京第一管理局:床版上面増厚工法マニュアル、H5 年 2 月

23) 日本道路公団名古屋管理局羽島管理事務所。平成 8 年度名神高速道路床版補強工法検討、中間報告書、H9 年 1 月 30 日

(受理 平成10年 3月20日)