

# 論文 D-RAP 工法と小型はり試験

村山貴之\*1・小柳 治\*2・安井昌幸\*3・江口光昭\*4

要旨：新しい道路橋RC床版の補強工法であるD-RAP工法の補強効果について、小型はりモデルを用いて各種確認試験や比較検討試験を行い、プレキャスト板を接着した複合体としての破壊機構、補強効果について検討した。実験の結果、プレキャスト板補強はり供試体の破壊性状は、無補強はり供試体に比べ、剛性、変位、最大荷重の増加がみられた。また、ひび割れが分散して発生し、通常のRCはりよりも変形能の大きい曲げ破壊性状を示した。

キーワード：D-RAP工法、維持管理、道路橋RC床版、補修・補強、エポキシ樹脂

## 1. はじめに

既設道路橋RC床版の劣化のメカニズム等については従来からさまざまな研究がされており、補修、補強についても従来から種々の検討がされてきている。D-RAP工法は、従来の床版増厚工法と同様の考え方で補強を行うものであり、劣化した既設道路橋RC床版の補強対策として、まず床版の舗装部分を取り除き劣化した部分を修復した後、上面にプレキャスト板をエポキシ樹脂接着剤を用いて接着し再舗装する新しい補強工法である。その概略を断面図として図-1に示す。

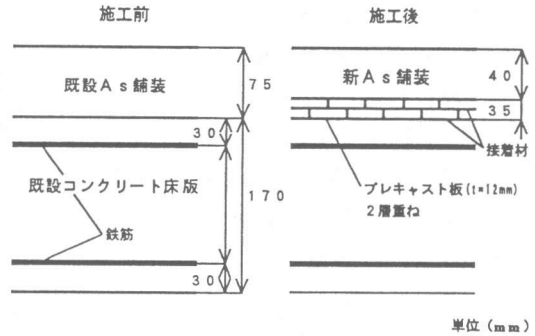


図-1 施工断面図

これは、既存の床版を痛めずにそのまま最大限に利用するものであり、パネルを接着することによって床版の剛性と耐力を増加させると共に、接着層が橋面からの床版の劣化を加速させる水や鉄筋を腐食させる塩分の浸透を防止するなど防水層として働く点が有利な画期的補強工法である。本工法は、名神高速道路一宮IC内の下平橋において1993年5月に、また本線上においては揖斐川橋で1994年5月に最初に施工が行われた。なおD-RAPとは、Deck Restoration by (Double) Adhesive Panelsの頭文字を取って名付けられたものである。ここでは本工法が初めての試みであるため、その補強効果、構造、材料および施工上の各種の問題点の検討を小型はり供試体を用いて行った結果について述べる。

- \* 1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)
- \* 2 岐阜大学教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)
- \* 3 名古屋ロードメンテナンス (株) 常任参与企画工務部長 (正会員)
- \* 4 日本道路公団名古屋管理局羽島管理事務所改良助役

## 2. 実験概要

### 2. 1 実験計画

本試験において、以下の諸項目についてD-RAP工法による補強効果の検討を行った。

- ①補強供試体の補強効果と、補強供試体と同じはり高さの無補強供試体を用いた補強効果の確認
- ②モーメントスパンの長さ（パネル長さとの相対比）を変えた場合の破壊性状
- ③エポキシ樹脂の温度依存性によるパネル接着供試体の破壊性状
- ④施工上不可抗力で入ると考えられる気泡等非接着部分の及ぼす影響（接着面積を変えて検討）
- ⑤プレキャスト板の吸水膨張による耐力変化
- ⑥プレキャスト板への水の影響（乾湿繰り返し）
- ⑦接着部の湿度による影響（濡れの程度を変えて検討）
- ⑧プレキャスト板が引張側となるときの破壊性状
- ⑨プレキャスト板の目地の有無および目地位置の影響

### 2. 2 供試体および載荷方法

実験に用いた供試体の寸法諸元および種類を表-1、表-2に示す。なお、本実験は3年間にわたっているため、表-2中の※印の供試体は試験のシリーズが異なり、ほかの供試体とはりの有効高さが異なっている。コンクリートの平均圧縮強度は344kgf/cm<sup>2</sup>、鉄筋の降伏強度は36.7kgf/mm<sup>2</sup>、引張強度は、51.8kgf/mm<sup>2</sup>である。

プレキャスト板はノンオートクレーブ製法ノンアスベストスレートボード（FB-N 幅150mm×長さ200mm×厚さ6mm、曲げ強度300kgf/cm<sup>2</sup>）を使用した。接着剤は2液型エポキシ樹脂（X-JH1 主剤：エポキシ樹脂、硬化剤：変性ポリアミド、配合比 主材／硬化剤／珪砂5号=3:1:8、曲げ強度430kgf/cm<sup>2</sup>）を使用した。

プレキャスト板は2層とし千鳥配置を原則とした。載荷試験方法を図-2に示す。温度変化による破壊性状の影響度試験では、面状発熱体を用いてはり供試体温度を40℃、60℃にした。

表-1 供試体寸法

種類	断面寸法(cm)			長さ (cm)	使用 鉄筋
	幅	高さ	有効高さ		
無補強(1)	15	10.0	6.5 (※6.0)	120	2D10
無補強(2)	15	11.5	8.0		
補強	15	11.5	8.0 (※7.5)		

表-2 試験種別一覧

供試体番号	試験概要	供試体 数
1-1*2* 3*4*5*6	無補強供試体(1) (補強効果の確認)	6
2-1*2	無補強供試体(2) (補強供試体と同厚とし補強効果の確認)	2
3-1*2* 3*4*5*6	補強供試体 (破壊状態の確認)	6
4-1*・2*	モーメントスパン長(a)の影響度(a=100mm)	2
5-1*・2*	" (a=500mm)	2
6-1*2	温度による破壊性状の影響度(40℃)	2
7-1*2	" (60℃)	2
8-1*・2*	気泡等非接着部分の影響度(接着率75%縦)	2
9-1*・2*	" ( " 75%横)	2
10-1*・2*	" ( " 75%真中)	2
11-1*2	" (接着率50%縦)	2
12-1*2	" ( " 50%横)	2
13-1*2	" (接着率25%縦)	2
14-1*2	" ( " 25%横)	2
15-1*・2*	プレキャスト板の吸水の影響度(2日間水浸)	2
16-1*2	スレート板の水の影響度(乾湿繰り返し)	2
17-1*2	接着部の湿度による影響度 (表面をブローした場合)	2
18-1*2	" (表面を拭いた場合)	2
19-1*・2*	プレキャスト板が引張側となるときの影響度	2
20-1*・2*	施工目地の影響度(同位置上に2層重ね)	2
21-1*・2*	" (目地無しで2層重ね)	2

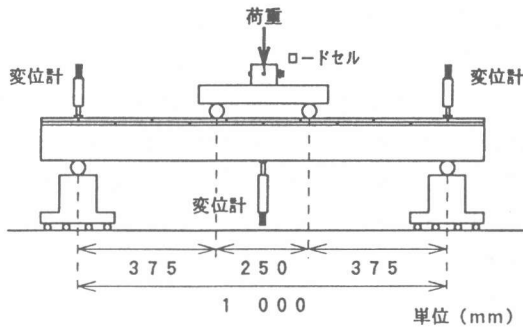


図-2 載荷方法

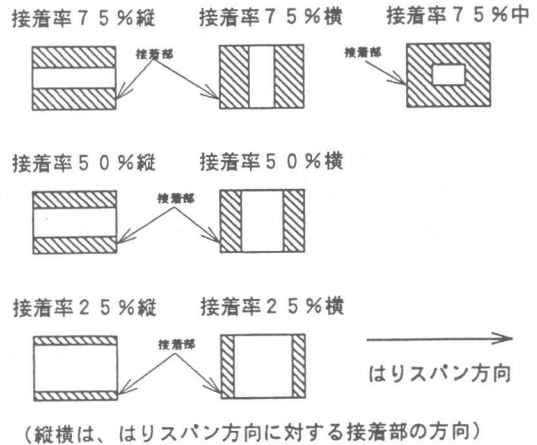


図-3 非接着部詳細

非接着部の影響度試験においては、図-3  
に示すように粘着テープを用いて非接着部

を所定の割合で設けた。プレキャスト板の吸水膨張による影響度試験において供試体No. 15は、プレキャスト板をコンクリートはりに張り付けた後、水槽内に2日間水浸させ、プレキャスト板は濡れたまま載荷試験を行った。プレキャスト板の水の影響度試験において供試体No. 16は、プレキャスト板をコンクリートはりに張り付けた後、24時間水浸、24時間空气中に放置を1サイクルとし、これを10サイクル繰り返した後、供試体を乾燥状態にして載荷試験を行った。接着部の湿度による影響度試験において、供試体No. 17は2日間水浸させた後、温風によって表面乾燥させプレキャスト板を張り付け、供試体No. 18は2日間水浸させた後、表面を布等でさっと拭きプレキャスト板を張り付けた。なお、Kettの水分計で測った平均表面乾燥度は、前者の場合で12%、後者の場合で7%であり、通常の乾燥状態の供試体では3%であった。

### 3. 実験結果

はり試験結果をシリーズごと表-3、表-4に示す。ここでは異なる試験のシリーズの比較のため、終局荷重 $P_u$ と $P_{uc}$ との比を同時に示す。なお、 $P_{uc}$ は同厚のRCはりとしての算定曲げ破壊荷重である。また、平均変位は終局荷重時の変位である。

表-3 小型はり試験一覧(その1)

供試体番号	降伏荷重 $P_y$ (kgf)	終局荷重 $P_u$ (kgf)	$P_u/P_{uc}$	平均変位	破壊形式
1-1*2*	1370	1440	1.12	20.1	○
3-1*2*	1750	2090	1.19	35.5	●
4-1*2*	1490	1850	1.26	38.2	○
5-1*2*	2620	3120	1.18	31.9	●
8-1*2*	1760	2160	1.23	32.6	●
9-1*2*	1710	2080	1.15	37.6	◎■
10-1*2*	1740	2220	1.26	40.6	◎■
15-1*2*	1760	1950	1.11	32.7	○
19-1*2*	1130	1530	1.19	19.8	●
20-1*2*	1700	2040	1.16	40.4	■
21-1*2*	1760	2150	1.22	33.8	■

表-4 小型はり試験一覧(その2)

供試体番号	降伏荷重 $P_y$ (kgf)	終局荷重 $P_u$ (kgf)	$P_u/P_{uc}$	平均変位	破壊形式
1-3*4*5*6	1660	1890	1.14	26.0	○
2-1*2	2120	2380	1.14	24.0	○
3-3*4*5*6	2210	2500	1.30	43.0	●
6-1*2	1970	2610	1.24	58.6	×▲
7-1*2	1870	2450	1.16	54.0	△▲
11-1*2	2040	2530	1.20	59.6	●▲
12-1*2	2060	2580	1.22	42.7	▲◆
13-1*2	2060	2540	1.20	24.7	▲
14-1*2	1980	2390	1.13	26.2	▲
16-1*2	2170	2600	1.25	50.5	×▲
17-1*2	2100	2380	1.14	27.3	▲
18-1*2	2070	2400	1.15	26.1	▲

○上縁部の圧壊 ●上縁部の圧壊に伴う層間剥離 ◎目地部の圧壊 ■層間剥離  
△せん断 ▲せん断破壊に伴う層間剥離 ◆圧壊後せん断 ×変形増により破壊前に終了

### 3. 1 プレキャスト板の補強による破壊性状の比較(1-1・2・3・4・5・6, 2-1・2, 3-1・2・3・4・5・6)

無補強供試体(1)(2)および補強供試体の荷重-変位曲線を図-4に示す。補強供試体の破壊は、無補強供試体と同様、曲げにともなう上縁の圧壊であるが、通常のコンクリートよりもプレキャスト板の終局ひずみが大いいため、通常のRCはりでも見られるよりさらに非常に靱性に富んだ曲げ破壊性状を示した。補強供試体の方が無補強供試体(1)に比べ、ひびわれは分散して発生する傾向がみられた。供試体のひびわれ図の例を図-5に示す。この結果、最終変位は無補強供試体(1)の2倍以上となった。補強供試体は無補強供試体(1)に比べ剛性、終局荷重ともに増加した。また補強供試体では、はり高さが等しい無補強供試体(2)に比べ最終変位ばかりでなく終局荷重も増加している。このことからプレキャスト板を接着することにより、補強した時と同じはり高さの無補強供試体以上の性能を有することがわかる。

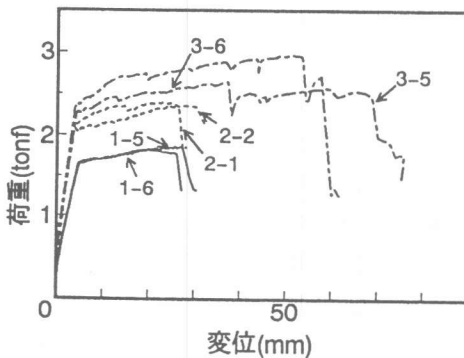


図-4 補強効果の確認

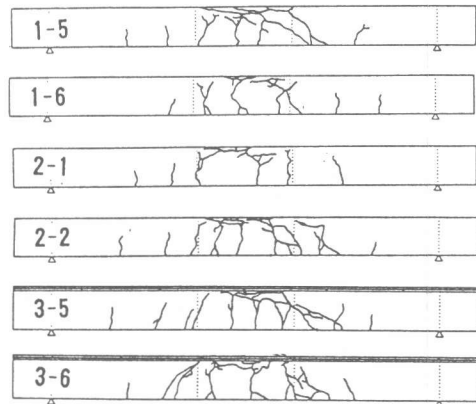


図-5 供試体ひびわれ図

### 3. 2 モーメントスパン長の違いによる破壊性状の比較(4-1・2, 5-1・2)

いずれの供試体も、5~8本の曲げひびわれが発生した後、モーメントスパン100mmにおいてはプレキャスト板の圧壊により破壊し、モーメントスパン500mmにおいては、最終的にプレキャスト板内の層間剥離にて破壊した。モーメントスパンすなわち荷点間隔が小さく、破壊が1枚のプレキャスト板内の圧壊で生じた場合は、終局耐力比がやや高くなるが、ある程度間隔が大になれば、いずれも耐力比は同程度であった。

### 3. 3 エポキシ樹脂の温度依存性によるパネル接着供試体の破壊性状(6-1・2, 7-1・2)

接着剤としてエポキシ樹脂を用いているため、高温下においての破壊性状の検討として、温度を常温(10℃)、40℃、60℃に設定してはり試験を行った。この試験の終局荷重と降伏荷重の比較を図-6に示す。温度40℃においては終局荷重は常温と同じであるが、温度60℃においては終局荷重は常温に比べ約10%低下している。破壊の形式としては、プレキャスト板内の層間剥離後に目地部が圧壊し、その後せん断破壊で壊れるものが多かった。変形量はやや増加する傾向にある。ここで用いたエポキシ樹脂の熱変形温度は明確ではないが、60℃の場合では樹脂の力学的特性の変化が影響したものと考えられる。

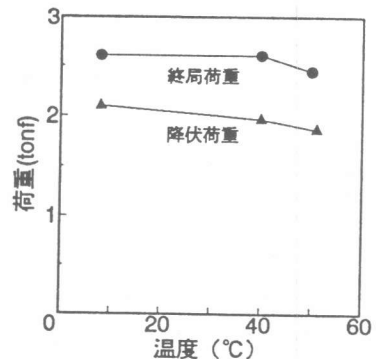


図-6 温度の影響度

### 3. 4 非接着部の及ぼす影響(8~14-1・2)

現場施工基面の不陸および施工上不可抗力ではいる気泡等非接着部の及ぼす影響について、接着面積を75、50、25%の3種類について実験を行った。接着率による強度比較を図-7に示す。破壊形式はプレキャスト板と接着層の層間剥離後のせん断破壊が多かった。最大変位量は、接着率の低下につれて減少する傾向にある。また、終局荷重は接着率75、50%については接着率100%の供試体No. 3のものと顕著な差はみられなかったが、接着率25%の横方向(はり軸直角方向)において終局荷重に約10%の低下がみられた。

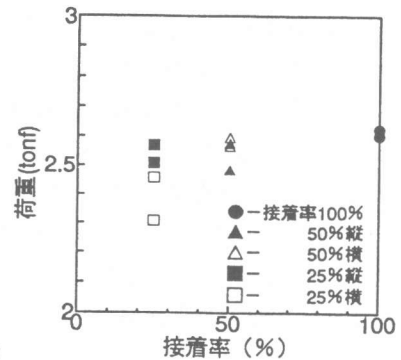


図-7 非接着部の影響度

### 3. 5 プレキャスト板の吸水膨張による耐力変化(15-1・2)

最大変位についてはあまり変化はなかったが、終局荷重はやや減少する傾向にある。破壊形式としては、プレキャスト板の層間剥離による破壊であるが、特長として1枚のプレキャスト板が何枚にも分かれて層間剥離した点が挙げられる。

### 3. 6 プレキャスト板への水の影響(16-1・2)

終局荷重については約10%の低下が見られた。この試験の荷重-変位曲線を図-8に示す。破壊形式は、上層のプレキャスト板が圧壊した後、せん断破壊にともなうせん断スパン内におけるプレキャスト板内の層間剥離による破壊であった。最大変形は減少する傾向にある。

### 3. 7 接着部の湿潤度による影響(17-1・2, 18-1・2)

破壊に至るまでの状況は、上層のプレキャスト板内での剥離が起こった後、プレキャスト板とコンクリートの間の剥離とともにせん断破壊が起こった。この試験の荷重-変位曲線を図-9に示す。最大変位量はせん断破壊で壊れたため減少する傾向にある。最大荷重は補強供試体に比べ約10%の減少となった。なお、同厚の無補強供試体No. 2と比較した場合にはほぼ同じ耐力であった。またNo. 17とNo. 18より、この程度の表面湿度であれば耐力に影響が生ずると考えられる。

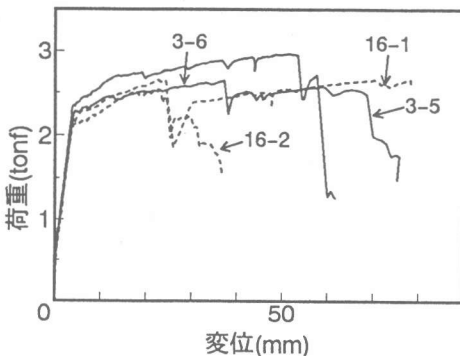


図-8 プレキャスト板の水の影響

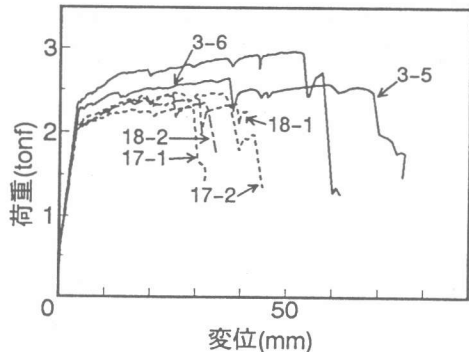


図-9 湿潤度の影響

### 3. 8 プレキャスト板が引張側となるときの破壊性状(19-1・2)

供試体No. 19は、供試体No. 3に比べひびわれ耐力が約400kgf向上したが、載荷点直下のプレキャスト板の目地部2ヶ所にひびわれが発生した後は、無補強供試体と同じような荷重-変位曲線を描

いた。プレキャスト板による補強が引張部にある場合は、ひびわれ強度は約1100kgfであり、ひびわれ発生までの剛性は高い。ひびわれ発生後は当然ながら補強効果は考えられない。プレキャスト板が引張側となる場合の破壊性状としては、ひびわれがプレキャスト板の目地部から発生し、コンクリート上縁の圧壊で破壊した。

### 3. 9 プレキャスト板の目地の有無および目地位置(20-1・2、21-1・2)

供試体No. 3はプレキャスト板を千鳥配置で設置したが、比較のため供試体No. 20については2枚の板の目地位置を同一に重ねて配置し、供試体No. 21は目地無し配置、つまり1枚もののプレキャスト板を2枚重ねたものを用いた。施工目地による違いは余り見られなかった。供試体No. 3に比べ、供試体No. 20は約3%の強度低下、供試体No. 21は約3%の強度増加が見られた。本結果からは明確ではないが、目地部が弱点となりうることから千鳥状での配置が好ましいと考えられる。

## 4. まとめ

今回は、D-RAP工法について小型はり供試体を用い、各種確認試験や比較検討試験を行ってプレキャスト板を接着した複合体としての破壊機構や補強効果について検討した。その結果、次のような結論を得た。

- ①無補強供試体に対しプレキャスト板を接着した補強供試体は、耐力および変形能に対しても優れており、その補強効果が大きいことを確認できた。また補強供試体は、はり高さが等しい無補強供試体以上の耐力を有することがわかった。
- ②供試体温度が40℃までは常温との差はみられないが60℃以上では耐力が低下する可能性がある。
- ③非接着部の及ぼす影響については、接着面積が50%程度では破壊性状に変化はないが、接着面積が25%以下となると接着面の形状により耐力が低下する。
- ④接着面の水分を除去した後、接着した場合についても、強度が多少低下する傾向にあるので、施工中の雨対策には十分注意が必要であると考えられる。
- ⑤プレキャスト板の目地部が弱点となり得るが、実際に道路橋RC床版にプレキャスト板を接着する場合、施工上の制約等で千鳥配置で接着することが最も望ましい。

謝辞：本実験を遂行するに当たって協力いただいた、岐阜大学学生 加藤充伸氏、大日コンサルタント(株) 松島秀夫、野々村敏博両氏ならびに関係各位に感謝の意を表します。