

# 報告 新材料を用いたコンクリート構造物の補修方法に関する性能評価試験

井戸 功誠<sup>\*1</sup>・友清 剛<sup>\*2</sup>・繪嶋 武史<sup>\*3</sup>・河合 康統<sup>\*4</sup>

**要旨**：首都高速道路は、開通後約 40 年が経過し、損傷が顕在化し始めている。現行ではガラス繊維シートが主流となっているが、これに替わる新しい剥落防止工法が研究されている。本報告は、その補修効果を検討する目的で押抜き試験・層間付着試験を行い、その結果について報告するものである。

**キーワード**：剥落防止工法, FRP 補修, 押抜き試験, 層間付着試験

## 1. はじめに

首都高速道路は、開通後約 40 年が経過し、損傷が顕在化し始めている。コンクリートの劣化進行の抑制、コンクリートの剥落防止などの目的で、現行では、ガラスクロスによる FRP 補修が行われている。

しかし、①FRP 補修は施工に時間を要すること、②実際の剥落・損傷、浮きの重量を換算すると押抜き試験の規格値が過大である、などの問題点がある。そこで、これに替わる新しい剥落防止工法が研究され、開発されている。

これらの各工法について、個別の試験は行われているものの、一律の基準による比較検討はなされていない。首都高速道路公団では、各工法を同一条件で比較検討するために押抜き試験・層間付着試験を計画し、その施工方法や試験結果についての比較検討を行っている。2001 年度 6 工法、2002 年度 16 工法について検討を行った。

本報告では、その補修効果を検討する目的で行った押抜き試験・層間付着試験について、その方法と 2002 年度 16 工法についての検討内容について報告する。

## 2. 試験の目的

性能評価試験として、押抜き試験と層間付着性能試験の 2 種類の試験を行った。本試験は、首都高速道路公団で従来用いられてきたのと同等の供試体、養生方法、載荷方法によって行った。比較する工法として、新しい補修工法 15 工法と、FRP 補修工法 1 工法の計 16 工法とした。

押抜き試験では、コンクリート板の供試体を用い、耐荷性能と変形性能について行った。

層間付着性能試験では、供試体としてモルタル板を用い、3 通りの養生条件（標準養生・半水中養生・温冷繰返し養生）により製作した。

半水中養生では、施工面が湿潤状態の場合についての性能評価を行う目的で、温冷繰返し養生では、間接的に耐久性能の評価を行う目的で試験を行った。

## 3. 試験供試体の種類

今回、試験に用いた供試体の詳細を表-1 に示す。

本報告では、剥落防止工法で施工されたものを保護シート、保護シート内のメッシュ形状になっているものを繊維シートと呼ぶことにした。

\*1 日本大学助手 理工学部土木工学科 工修 (正会員)

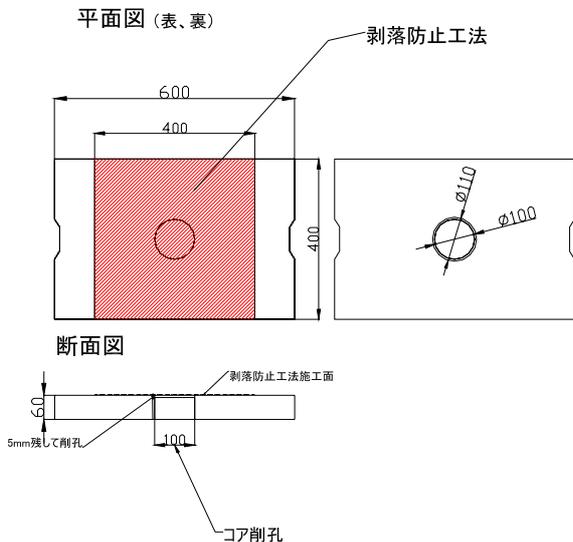
\*2 首都高速道路公団 保全施設部保全技術課 (正会員)

\*3 首都高速道路技術センター 技術部技術第一課

\*4 日本大学大学院 理工学研究科土木工学専攻

表－１ 剥落防止工法試験供試体種類

供試体番号	養生	主材料（表層以外）	繊維シート		
			材料	軸	粗密性
FRP	7日	エポキシ樹脂	ガラスクロス	2	密
A1	7日	メタクリル樹脂	耐アルカリガラスクロス	2	密
A2	9日	クロロプレングム	ビニロン繊維	2	粗(細い)
A3	7日	エポキシ樹脂	ビニロン繊維	3	粗(太い)
A4	7日	エポキシ樹脂	ビニロン繊維	3	粗(太い)
A5	7日	ポリマーセメントモルタル	ビニロン繊維	3	粗(太い)
A6	7日	エポキシ樹脂	特殊ラミネートシート (ナイロンフィルム+ポリエステルフィルム+不織布)	3	密
A7	3日	ポリマーセメントモルタル	ビニロン繊維	3	粗(太い)
A8	7日	ウレタン樹脂	—	—	—
A9	3日	アクリル樹脂	ビニロン繊維	2	粗(太い)
B1	28日	ポリマーセメントモルタル	耐アルカリガラスクロス	2	粗(太い)
B2	28日	ポリマーセメントモルタル	ナイロン芯メッシュ	2	密
B3	28日	ポリマーセメントモルタル	ポリプロピレン繊維	2	粗(太い)
B4	28日	ポリマーセメントモルタル	ビニロン繊維	2	粗(細い)
B5	28日	ポリマーセメントモルタル	ビニロン繊維	2	密
B6	28日	エポキシ樹脂	ガラスクロス	2	密



図－１ 押抜き試験供試体概略図

表－１には、保護シートの主材料、繊維材料、材料形状および各工法の特徴を示した。16工法中、A8供試体を除いた他は、全て繊維シートを用いている。残り15工法は、繊維シートを主材料により貼り付けた工法である。

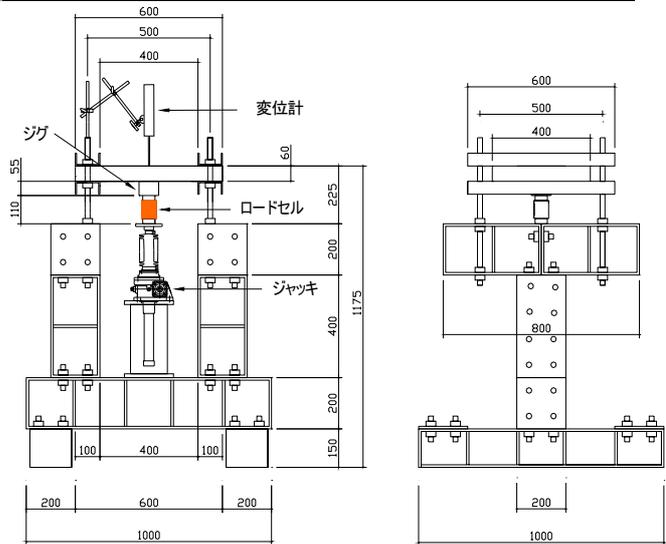
工法は、FRPを従来工法とし、材料と繊維シートとの組み合わせの違いによるものを新工法とした。

各工法にはそれぞれ適した養生期間(A1～A9供試体は9日以内、B1～B6供試体は28日)があるため、2グループに分けて試験を行った。

#### 4. 押抜き試験

##### 4.1 供試体形状

押抜き試験の供試体概略図を図－１に示し、1例としてFRP供試体を写真－１に示す。



図－２ 押抜き試験装置全体図

試験供試体には、JIS A 5372 : 2000 (プレキャスト鉄筋コンクリート製品)に規定するU



写真－１ FRP供試体

形ふた呼び名1種300(400×600×60mm)(以下、U形ふた)を用いた。

U形ふた中央部をφ100mmの形状でコンクリート用カッターにより5mm(許容誤差±1mm)残し、裏面より垂直に削孔した。表面の中心部400×400mmの範囲に各種剥落防止工法を施工した。1工法につき3体ずつ、計48体の供試体を製作した。

## 4.2 試験装置

試験装置を図-2に示す。供試体のコア部分を下面より上面に押抜く荷重方法で挙動を確認した。

荷重は、ネジ式ジャッキ (J1CLUK0200BFN) を使用し、供試体端部は固定し、変位制御で荷重を行った。この装置は、上面が施工面となり、供試体観察が容易に行えるようにしている。

計測は、コアに作用する荷重をジャッキの先に付けたロードセル、コア上面の変位を保護シート中心部に据えて計測した。

## 4.3 試験比較基準値

押抜き強度の基準値は、最大荷重 300N 以上とした。

点検時において変状箇所の確認が容易になることから、ある程度の変位があることが望ましいとして、ここでは変位 10mm に着目した。

この基準値は剥落実態を踏まえ、現行の FRP 基準よりも低減した値を設定した。さらに詳細な調査を行い、より適切な基準値の設定を行っていく必要がある。基準値を低減することにより、合理的、経済的な剥落防止工法および、その材料の選択が広がることが予想される。

## 4.4 試験方法

荷重方法は次の通り行った。コア抜き取り部分破壊後表面が盛り上がっているのが目視で確認できる変位 1mm まで約 1mm/分 (1 回転 15 秒) で荷重し、その後、約 5mm/分 (1 回転 3 秒) で変位 5mm, 10mm, その後 10mm 間隔で観察のために荷重を停止した。

試験終了は、荷重が基準値を下回った場合、計測不能になった場合、ジグの変形を確認した時とした。

## 5. 層間付着試験

### 5.1 供試体形状

層間付着試験の供試体概略図を図-3に示す。使用する供試体はモルタル板 (70×70×

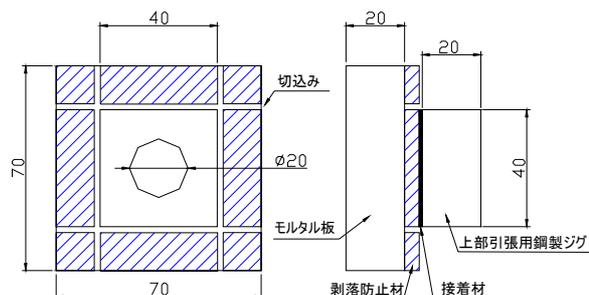


図-3 層間付着試験供試体概略図

20mm) を使用する。押抜き試験と同様の供試体を用いて試験を行うのが好ましいが、3種類の養生を行う際に、U形ふたでは大きすぎるため、今回はこのサイズのモルタル板を選択した。

モルタル板の表面に保護シートを施工し、保護シートと上部引張用鋼製ジグとの層間付着力を計測するために、鋼製ジグにそって、コンクリート基盤に達するまで切れ込みを入れてある。

供試体は下記の3つの条件で養生施工が行われ、3体ずつ計 144 体製作した。

#### (1) 標準養生

- 温度 20°C, 相対湿度 65% で 24 時間以上養生を行う。
- 養生後、剥落防止工法を施工する。
- 剥落防止工法施工後、直ちに温度 20°C, 相対湿度 65% で 28 日間養生を行う。

#### (2) 半水中養生

- 供試体を 20°C の水中に全没させ、24 時間以上養生を行う。
- 養生後水中から引き上げて水を拭き取ってから剥落防止工法を施工する。
- 剥落防止工法施工後、直ちに供試体の剥落防止工法施工面が水面から約 5mm の位置に置き、気温 20°C, 水温 20°C の状態で 28 日間養生する。その後、標準養生状態で 24 時間静置して乾燥させる。

#### (3) 温冷繰返し養生

- 温度 20°C, 相対湿度 65% で 24 時間以上養生を行う。
- 養生後、剥落防止工法を施工する。
- 剥落防止工法施工後、直ちに温度 20°C, 相対湿度 65% で 28 日間養生を行う。その後、

表-2 最大荷重時の荷重・変位および10mm時荷重

		FRP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1体目	最大荷重(kN)	1.50	2.55	0.86	1.74	1.30	1.24	1.85	2.78	1.64	1.16	1.25	1.65	2.34	0.85	0.89	1.94
	変位(mm)	16.40	7.22	17.44	6.56	11.26	35.08	4.50	20.02	27.18	19.02	4.72	18.78	46.88	9.10	7.82	6.72
	10mm荷重(kN)	1.22	1.51	0.75	1.41	1.18	0.81	1.57	1.96	0.95	0.87	0.40	0.95	1.13	0.64	0.45	0.60
2体目	最大荷重(kN)	2.23	2.12	0.86	1.94	1.25	1.25	1.72	2.74	1.33	1.46	1.28	1.86	2.85	0.77	0.80	1.83
	変位(mm)	28.62	8.76	15.38	6.16	11.04	29.94	6.48	23.00	23.30	27.70	4.40	18.52	44.28	8.78	6.58	5.12
	10mm荷重(kN)	1.19	1.93	0.78	1.22	1.14	0.77	1.74	1.81	1.04	0.98	0.58	1.23	1.55	0.71	0.61	0.67
3体目	最大荷重(kN)	1.61	2.68	0.83	1.84	1.26	1.27	1.85	1.87	1.87	1.45	1.17	1.60	2.67	0.74	0.75	1.56
	変位(mm)	9.78	6.44	11.24	4.90	13.80	31.96	8.76	32.92	32.92	23.66	4.64	21.40	37.84	8.80	7.32	4.10
	10mm荷重(kN)	1.54	0.83	0.72	1.54	1.10	0.71	1.25	1.88	0.92	0.92	0.37	0.83	1.44	0.42	0.35	0.35
平均	最大荷重(kN)	1.78	2.45	0.85	1.84	1.27	1.25	1.81	2.46	1.61	1.36	1.23	1.70	2.62	0.79	0.81	1.78
	変位(mm)	18.27	7.47	14.69	5.87	12.03	32.33	6.58	25.31	27.80	23.46	4.59	19.57	43.00	8.89	7.24	5.31
	10mm荷重(kN)	1.32	1.42	0.75	1.39	1.14	0.76	1.52	1.88	0.97	0.92	0.45	1.00	1.37	0.59	0.47	0.54

20℃の水中に 18 時間全没した後、水から引き上げ直ちに-20℃の恒温槽で3時間冷却し、次いで 50℃の恒温槽で3時間加温する。この 24 時間を 1 サイクルとする操作を 15 回繰り返す。

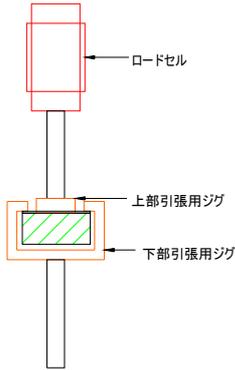


図-5 ジグ拡大図

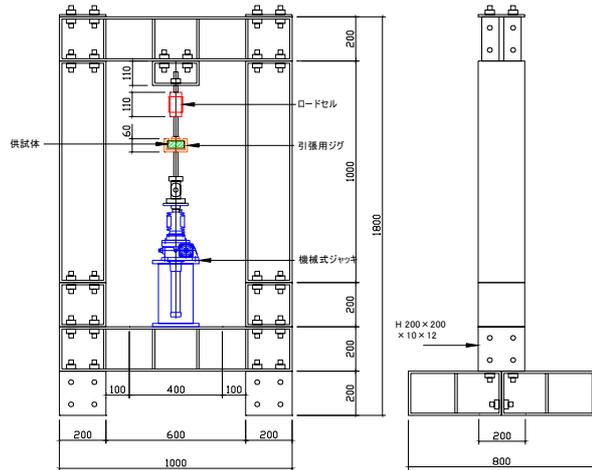


図-4 層間付着試験装置全体図

## 5.2 試験装置

今回の試験装置全体図を図-4 に、ジグの拡大図を図-5 に示す。供試体を下方に引っ張る方法の載荷形式とする。

載荷は変位制御式ネジ式ジャッキ(J1CLUK0200BFN)を使用した。

計測装置としてロードセルを取り付けてある。

## 5.3 試験比較基準値

この試験では、3 つの養生条件とも付着強度を  $1.0\text{N}/\text{mm}^2$  以上とした。

## 5.4 試験方法

開始時から破断するまで変位約  $0.75\text{mm}/\text{分}$  (ジャッキ 20 秒/回転) で載荷する。

計測は、荷重のみロードセル (20kN) にて測定し、インターバル (2 秒間隔) とした。

## 6. 試験結果

### 6.1 押抜き試験結果

#### (1) 基準値との対比

押抜き試験結果として、表-2 に最大荷重作

用時の荷重・変位および変位 10mm での荷重を示した。FRP, A1, A5, A8, B5 の 5 つの工法について、10mm 変形時、最大変形時の写真を示した。

基準値は、すべての供試体が満たしたことがわかる。最大荷重は、工法によって 10mm よりも前にあるものと後にあるものがあった。

#### (2) 破壊形態

図-6 に、挙動の近い工法を 4 つに分類し、荷重変位関係図を示した。

写真-2 に 10mm での変形状況と、最大変形時の変形状況の写真を示した。

グループ 1 では、4 工法 (FRP, A7, A8, B2) を示した。変位 10mm を超えてから最大値をとり、その後急激に耐力が低下した。保護シートの変形性能・強度が高いが、主材料に亀裂が入ると、急激に耐力低下を引き起こす場合が多い。FRP もこれに含まれる。保護シートの変形性能は、主材料の変形性能による場合、コンクリート面と主材料との付着力が主材料の強度よりも

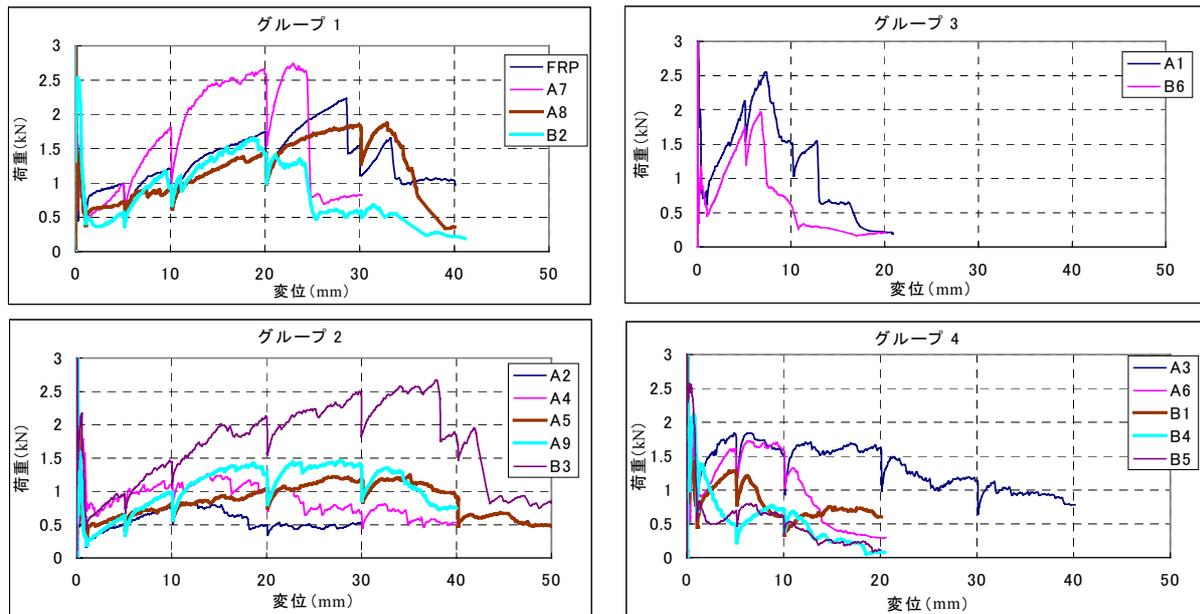


図-6 載荷荷重変位関係図

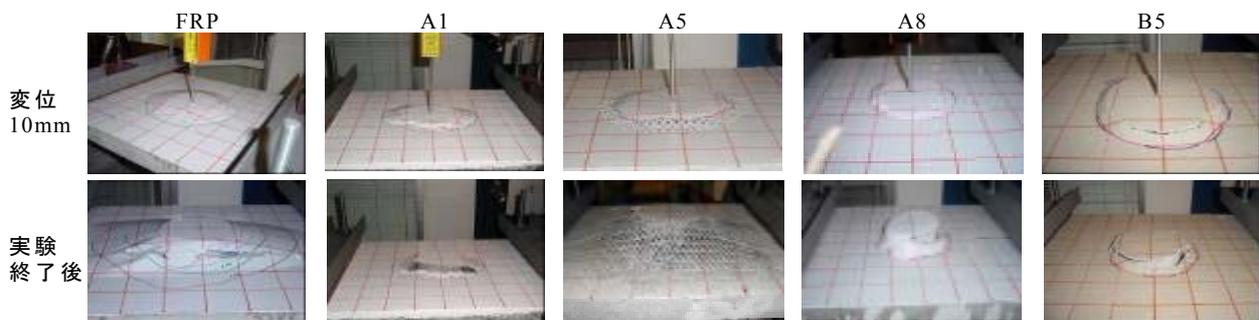


写真-2 供試体変形状況

弱い場合があった。

グループ2では、5工法(A2, A4, A5, A9, B3)を示した。変位10mmを超えてから最大値をとる。その後徐々に荷重が下がる。保護シートの強度は高くないが、変形性能は非常に大きい。繊維シートの強度が強く、主材料が割れるが、繊維シートが切れることはなく、著しい強度低下が起きずに変形する。

グループ3では、2工法(A1, B6)を示した。

変位10mmの手前で最大値をとる。基準値を満たすものの、最大値の直後に急激な耐力低下をした。保護シートの強度は非常に高いが変形性能はなく、主材料に亀裂が入ると同時に強度が低下する。主材料が非常に硬いシートであった。

グループ4では、5工法(A3, A6, B1, B4, B5)を示した。変位10mmの手前で最大値をと

る。その後、徐々に荷重が下がる。無機系などの靱性の低いものも多く、主材料に亀裂が入ったあと、徐々に亀裂が進行していくため、急激な強度低下はない。

## 6.2 層間付着試験結果

表-3に、養生条件ごとの付着強さの平均値と、破壊箇所をまとめた。また、図-7には破壊箇所の説明図、写真-3にはそれぞれ1例を写真に示した。

破壊箇所は、1.モルタル板、2.モルタル板-保護シート、3.保護シート内部、4.接着剤内部の4箇所に分け、このうち1, 4は保護シートの破壊ではない。

FRPは、すべての養生条件で、基準値を満たしていたが、半水中養生や温冷繰返し養生では、耐力低下していることを確認した。

表－3 養生別付着強さ平均値・破壊箇所

		FRP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5	B6
標準	付着強さの平均値(N/mm <sup>2</sup> )	3.01	1.62	2.44	2.33	2.40	1.37	3.01	0.88	2.48	1.38	0.50	1.71	1.84	1.28	2.37	2.62
	破壊場所	1	3	2	1	1	3	1	3	3	2	3	3	3	3	3	4
半水中	付着強さの平均値(N/mm <sup>2</sup> )	1.82	1.78	1.88	2.24	2.49	1.21	2.73	0.77	1.89	1.13	0.42	1.50	1.92	1.08	2.25	1.74
	破壊場所	3	3	2	1	1	3	1	3	3	2	3	3	2	3	3	3
温冷繰返し	付着強さの平均値(N/mm <sup>2</sup> )	2.50	1.39	0.97	2.76	2.40	2.16	2.22	1.00	1.86	0.73	0.85	2.34	1.73	1.70	2.86	2.63
	破壊場所	3	3	3	1	1	3	3	3	2	3	3	1	3	1	1	3



写真－3 破壊箇所一覧

A3, A4, A6 は、3つの養生条件ともに高い値となった。共通点として、保護シートの主材料にエポキシ樹脂を使用されていた。

試験前、標準養生に比べ、養生環境の厳しい半水中養生および温冷繰返し養生の付着強さは、低下すると推測された。しかし、試験結果では、半水中養生で3工法、温冷繰返し養生で8工法が、標準養生を上回っていた。これらには、無機系の主材料を用いているものが多い。

## 7. まとめ

本報告では、FRP補修工法に変わる新しい補修工法(15工法)を同一試験で検討し、その結果について報告した。

押抜き試験では、破壊形態について確認した。

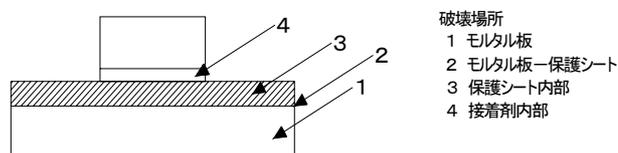
層間付着試験では、基準外のものでも保護シート表層(強度には直接関係ない)で剥がれたものもあった。

16工法のうち、FRPを含む12工法が今回の押抜き試験および層間付着試験の基準値を満たした。

それぞれの工法に特徴があり、これらを踏まえて今後、基準値の設定や試験方法の確立などの課題に取り組む必要がある。

## 謝辞

本試験は、「首都高速道路の点検・補修・補強に関する調査研究 コンクリート構造委員会」



図－7 破壊箇所説明図

の一環として、山崎淳教授(日本大学理工学部)の指導の下、行ったものである。首都高速道路公団 小島宏氏および委員各位に厚く御礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 首都高速道路公団, 首都高速道路技術センター: 首都高速道路の点検・補修・補強に関する調査研究(平成13年度)報告書, 2002.3
- 2) 首都高速道路公団: コンクリート塗装及びFRP補修基準(案), 1991.10
- 3) 岡田昌澄: 首都高速道路の剥落対策の現状, コンクリートテクノ, Vol.21, No.12, pp.54-57, 2002.12