

論文 短繊維補強コンクリートの部分打ちによる剥落防止工法に関する検討

梁 俊*1・丸屋 剛*2・坂本 淳*3

要旨：高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の老朽化に伴い、構造物の劣化による損傷が顕在化し始めており、これに伴うかぶりコンクリート片の落下による第三者への被害が大きな社会問題として浮上して久しい。本論文では、新設時においてボックスカルバートなどの構造物に剥落防止性能を付与することを目的として、本体コンクリートと同等の配合に合成繊維を混入した短繊維補強コンクリートを上床版の下かぶり部だけに適用する、施工性が良好でかつ経済的な剥落防止工法に関して検討を行った。

キーワード：剥落防止, かぶり, 短繊維補強コンクリート, 予防保全

1. はじめに

高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の老朽化に伴い、構造物の劣化による損傷が顕在化し始めており、これに伴うかぶりコンクリート片の落下による第三者への被害が大きな社会問題として浮上して久しい。

コンクリートの剥落は、初期欠陥や鉄筋腐食などによって発生したひび割れが進展することにより生じる。既設構造物に対しては、これらの剥落を防止するため、連続繊維シートや鋼板接着などの補修工法の研究が盛んに行われており、今後も、これらの補修工法は多くの構造物に適用されると考えられる。一方、新設の構造物については建設時に適切なコンクリートの剥落防止対策を講じることで構造物の長寿命化が図れ、ライフサイクルコストの削減を可能にすると考えられる。このような背景から剥落防止対策を施工するために数多くの剥落防止工法について検討が行われている^{1)~4)}。

既設構造物において用いられている後施工型の剥落防止工法に関しては、確実な剥落防止効果を確保するためには高い施工技術が必要とされ、コンクリートの表面処理が欠かせないため施工コストが高くなる。

新設構造物において用いられている連続繊維シートの埋込みによる剥落防止工法は、本体コンクリートと一体施工になるため、後施工型の剥落防止工法より作業工程が比較的短く、剥落防止効果の確保には有効な方法である。しかし、上床版の場合は連続繊維シートを型枠に敷いた後、その上で鉄筋を組むため配筋量が多い場合は作業の時間が長くなって型枠上に堆積されるごみが多くなる。連続繊維シートに引っかかったごみを排除するためには多大な労力と時間を費やすばかりではなく、一般的に型枠内の清掃にはハイウォッシャーが使用さ

れるため連続繊維シートにつけられた珪砂が落とされたり型枠に塗られた剥離剤が洗われたりする可能性がある。また、太径鉄筋が使用される場合には鉄筋の溶接にかかる時間が長くなることにより高温でシートが損なわれるリスクも高い。

本論文では、ボックスカルバートなどの構造物を新設する際に剥落防止性能を付与することを目的として、本体コンクリートと同じ配合のコンクリートに合成繊維を混入した短繊維補強コンクリートを上床版の下かぶり部だけに適用した剥落防止工法について、適用配合や剥落防止性能について検討した結果を論じる。

2. 短繊維補強コンクリートの配合に関する検討

本体部に使用するコンクリートをベースコンクリートとして合成繊維を投入するとコンクリートのスランプが低下するため、コンクリートの施工性能が損なう。本体部に使用するコンクリートと同等な施工性能を確保するためには、かぶり部に使用する短繊維補強コンクリートのスランプを本体部に使用するコンクリートと同等とする必要がある。一般的に、短繊維の投入により低下するスランプを補う方法としてよく行われるのがベースコンクリートの単位水量を多くしてスランプを予め大きくしておく方法であるが、コンクリートの耐久性から考えるとこの方法は好ましくない。高性能 AE 減水剤によりスランプを補う方法もあるが、高性能 AE 減水剤の減水効果により単位水量は減る半面、コンクリートのペースト量が少なくなり、コンクリートのフレッシュ性に影響を与える。

本研究では、本体部に使用するコンクリートをベースコンクリートとして短繊維と増粘剤一体型高性能 AE 減水剤を同時に後投入することにより、ベースコンクリー

*1 大成建設 (株) 技術センター 土木構工法研究室 博士 (工学) (正会員)

*2 大成建設 (株) 技術センター 土木技術研究所 所長 博士 (工学) (正会員)

*3 大成建設 (株) 技術センター 土木構工法研究室 主席研究員 博士 (工学) (正会員)

表-1 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

配合	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					後添加 (外割り)			測定値	
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G1	AE 減水剤 C×%	増粘剤一体型高性能 AE 減水剤 C×%	合成繊維 vol.%	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (t/m ³)
ベースコンクリート	48.5	42.7	163	336	775	1040	0.25	—	—	12.8	4.9	2.32
短繊維補強コンクリート								0.4	0.3	13.0	5.1	2.31

表-2 コンクリートの使用材料

種類	品質
セメント(C)	普通ポルトランドセメント:密度 3.16g/cm ³
細骨材 S	千葉県君津産山砂:表乾密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 2.86%
材 粗骨 G	青梅産砂岩碎石 (G _{MAX} 20mm) : 表乾密度: 2.62g/cm ³ , 吸水率 1.56%
混和剤(Ad)	AE 減水剤 (標準型), AE 剤

表-3 剥落防止の使用材料

種類	品質
合成繊維	ポリプロピレン繊維, 密度 0.91g/cm ³ , 繊維径 64.8μm, 繊維長 12mm
繊維シート (貼付け用)	ビニロン製 3 軸ネット 変性ポリウレタ樹脂系接着剤
繊維シート (埋込み用)	製品幅: 1,240mm~1,260mm, 製品重量: 400g/㎡以上, 糸条強度: 740N/本以上, 繊維配列: 辺長 40mm 3 軸配列, アラミド製 3 軸シート
剥落防止樹脂	主剤: 液状エポキシ樹脂、 硬化剤: メタキシリレンジアミン
混和剤(Ad)	増粘剤一体型高性能 AE 減水剤

トとは各使用材料の単位量とスランプがほぼ変わらない短繊維補強コンクリートの配合を選定することにした。短繊維と高性能 AE 減水剤の投入により低下するコンクリートの分離抵抗性は、高性能 AE 減水剤中に含まれている増粘剤成分により補われる。

水セメント比を 48.5%, 単位水量を 163kg/m³, 細骨材率を 42.7%に設定して目標スランプが 12cm, 目標空気量が 4.5%にしてベースコンクリートの配合を選定した。ベースコンクリートに短繊維と増粘剤一体型高性能 AE 減水剤を同時に後投入し、ベースコンクリートとスランプが変わらない短繊維補強コンクリートの配合を選定した。合成繊維の添加量は既往の実績から 0.3vol.%とした。増粘剤一体型高性能 AE 減水剤の添加量はあらかじめ予備試験により確認した。表-1 にベースコンクリートと短繊維補強コンクリートの配合およびフレッシュ性状を示す。また、コンクリートに使用した材料を表-2 に、剥落防止に使用した材料を表-3 に示す。

練混ぜには、強制二軸練りミキサ (定格容量 50 L) を使用した。短繊維補強コンクリートは、ベースコンクリート練り上がり後、ミキサ内に短繊維と増粘剤一体型高性能 AE 減水剤を所定量投入し、30 秒間練り混ぜた。写真-1 に合成繊維と増粘剤一体型 AE 減水剤の投入状況を示す。

表-1 に示すように、合成繊維投入前後のコンクリートのフレッシュ性状はほぼ一致している。



写真-1 繊維と増粘剤一体型高性能 AE 減水剤の投入

3. 試験体の製作および試験方法

3.1 試験体の製作

試験体の剥落防止効果確認試験は、NE XCO 試験方法第 4 編構造関係試験方法の「試験法 424-2011 はく落防止の押抜き試験方法」に準拠して行った⁶⁾。

試験体の形状を図-1 に示す。図に示す通り試験体は 700×600×200mm のコンクリート平板である。中には D13 の鉄筋格子を設置した。まず、鉄筋格子が埋められるまで短繊維補強コンクリートを打ち込んで、その上にベースコンクリートを打ち込んで封かん養生した (以後繊維コンクリート部分打ち工法と称する)。試験体は外気温 15°C・湿度 50% 程度の環境で 28 日間封かん養生を行い、

供試体作成時に採取したテストピースの材齢 28 日の圧縮強度（同一条件で封かん養生）が 30N/mm^2 以上になっていることを確認して試験を行った。押抜き試験時、ベースコンクリートと短繊維補強コンクリートのテストピースの圧縮強度は、それぞれの 44.5N/mm^2 、 44.8N/mm^2 であった。なお、コンクリートの締固めは内部振動機により行った。

試験体は試験実施前に、はく落防止性能照査面の反対面（コテ均し面）の中央部をコンクリート用コア cutter により内径 $\phi 100\text{mm} \times \text{L} 160\text{mm}$ ($\pm 3\text{mm}$) までコア抜きを行った。また、はく落防止性能照査面にはメッシュを罫書き、試験前 48 時間以上試験室で養生した。

本工法による剥落防止対策の有効性を比較検討するために、連続繊維シートを埋め込む剥落防止工法による試験体を製作した。実際の現場で施工を行う連続繊維シートの施工仕様にに基づき型枠面に連続繊維シートを敷いてその上にベースコンクリートを打ち込み、試験体を製作した（以後繊維シート埋込み工法と称する）。そのほか、比較検討のため、剥落防止樹脂塗りつけ工法、連続繊維シート張り付け工法の後施工による剥落防止工法を適用した試験体をそれぞれ 1 体ずつ体製作した（以後樹脂塗付工法、繊維シート貼付け工法と称する）。後施工剥落防止工の対象になる試験体はベースコンクリートを用いて図-1 の試験体製作図にしたがい製作した。4 種類の試験体の製作の状況を写真-2 に示す。

3.2 試験方法

試験は、同一条件下で製作された 3 個を 1 組として実施した。試験体の設置はスパンを 600mm にて H 鋼上にセットした。その後、コア中央部に鉛直、均等に荷重がかかるよう球座を挟んで載荷した。変位計はクロスヘッド部にセットした。まず、 1mm/min の速度でコンクリートの剥離面が生成されるまで、あるいはコア部のコンクリートが破壊されるまで載荷した。その後、 5mm/min の速度で載荷し、押抜き試験を行い、荷重および変位を測定した。変位 30mm でさらに耐荷力が確認された場合には、最大 50mm 程度の変位まで載荷し、試験体の剥落防止性能を確認した。押し抜き試験の状況を写真-3 に示す。

4. 試験の結果および考察

本研究では、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)「構造物施工管理要領」（平成 21 年 7 月）の新設構造物コンクリートはく落防止性能の照査規準により、変位 10mm 以上の範囲での最大荷重が 1.5kN 以上であることをコンクリート試験体の剥落防止性能が良好であるとの判断基準とした⁷⁾。

表-4 にひび割れ発生時、変位 10mm 時、最終変位時の写真と変位 10mm 時の荷重、変位 10mm 以後の荷重

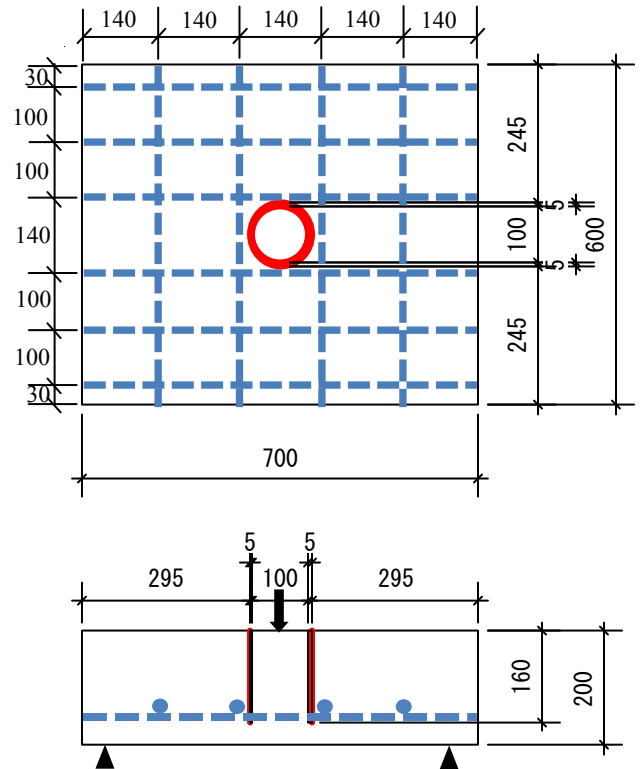
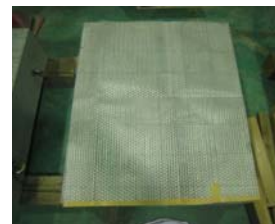


図-1 試験体図（単位：mm）



繊維シートの貼付け工法



樹脂の塗付け工法



繊維シート埋込み工法






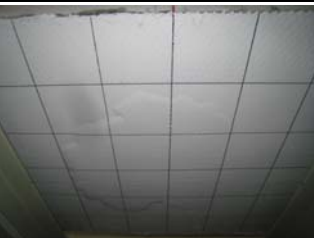

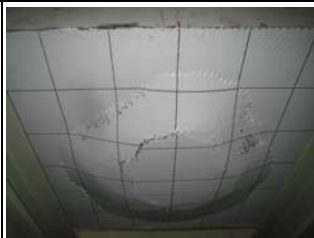






繊維コンクリート部分打ち工法

写真-2 各剥落防止工法による試験体製作状況



写真-3 押抜き試験状況

表-4 各載荷状態時の試験体下面状況および荷重・変位データ

区分	ひび割れ発生時荷重	変位 10mm 時荷重	最終変位・荷重	技術資料上の試験結果
樹脂の塗り付け (樹脂塗付)				最大荷重： 2.87kN 最大変位： 40mm以上
	44.91kN	0.82kN	0.99 kN・19.85mm	
繊維シートの貼付け (繊維貼付)				最大荷重： 2.58kN 最大変位： 22.6mm
	47.83kN	2.01 kN 変位21.05mm時に最小荷重 1.76kN	40mm・3.41kN 変位10mm後最大荷重4.12kN 時の変位は38.34mm	
繊維シート埋込み (繊維埋込)				最大荷重： 3.02kN 最大変位： 24.27mm
	45.86kN	2.06kN 変位48.90mm時に最小荷重 1.55kN	40mm・3.20kN 変位10mm後最大荷重3.68kN時 の変位は32.96mm	
繊維コンクリート部分打ち (部分打ち)				—
	47.28kN	3.31kN 変位16.26mm時に荷重1.5kN	30mm・0.75kN 変位10mm時が最大荷重3.31kN	

1.5kN 時の変位，最終変位時の荷重，変位 10mm 以後の最大荷重および最大荷重時の変位を示す。また，各剥落防止工法の技術資料上の試験データを表に示した。なお，試験データは試験体 3 体の平均値である。表に示すように，各ひび割れ発生時の荷重は，全試験体 12 体のひび割れ発生荷重の平均値である 46.5kN の±5%範囲以内に

入っている。これは，試験体 12 体のコンクリートの引張強度はほぼ一致していることで，試験体のコンクリート部分の試験条件はほぼ同一であったことを示している。

採用した剥落防止工法により，変位 10mm 時の荷重が相違していることがわかる。樹脂塗付け工法は，変位

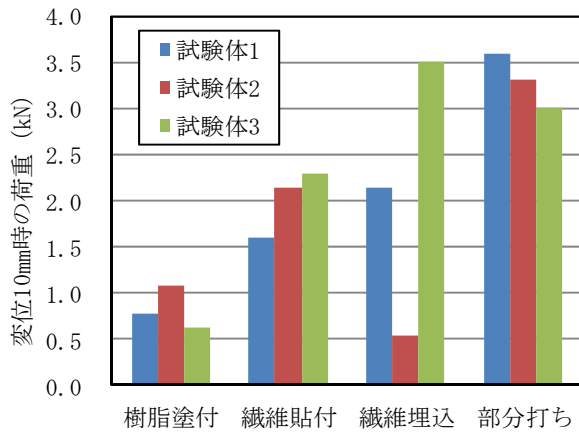


図-2 変位 10mm 時における各試験体の荷重

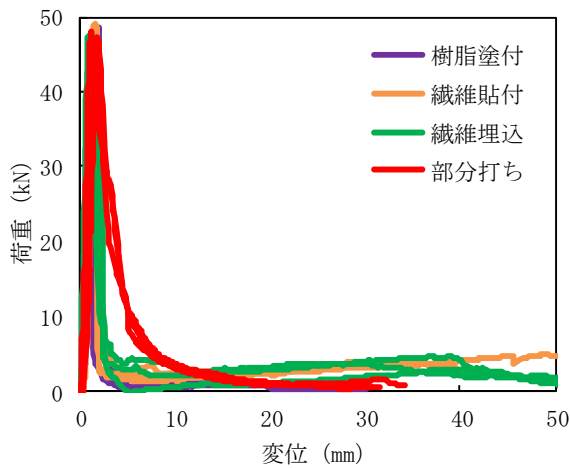


図-3 荷重による各試験体の変位

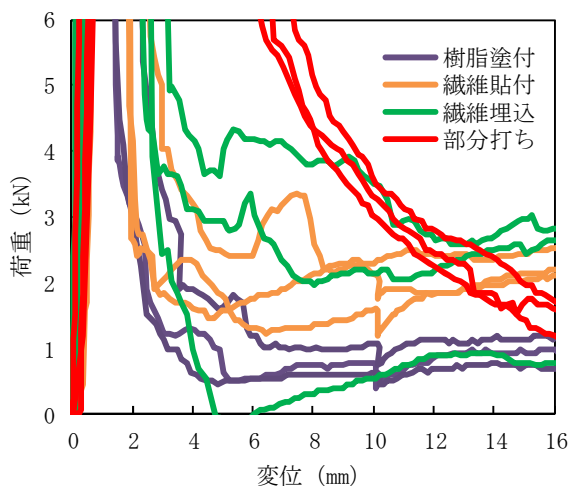


図-4 各試験体の変位 (荷重 1.5kN 近傍詳細)

10mm 時の平均荷重が 0.82kN, 変位 10mm 後の最大荷重が 0.99kN で合格値の 1.50kN を下回っている。試験体製作後 20 日目に剥落防止工を行ったため、試験体に蒸発

し切れなかった残存水分が影響し、変位 10mm 後の最大荷重が小さくなった可能性があると考えられる。樹脂塗付け工法においては、下地の表面処理を十分に行う必要があることを示している。

繊維シート貼付け工法と繊維シート埋込み工法の場合は、変位 10mm 時の平均荷重はそれぞれ合格値 1.5kN を上回る 2.01kN と 2.06kN で、変位 10mm 後の最大荷重がそれぞれ 4.12kN, 3.68kN である。これは、連続繊維シートによる剥落防止効果は良好で、貼付けと埋込みによる差異はほぼないことを示している。ひび割れ発生後、連続繊維シートが引き伸ばされることにより、変位 40mm 時の荷重が変位 10mm 時の平均荷重より大きくなったと考えられる。繊維コンクリート部分打ち工法の場合、変位 10mm 時の平均荷重は 3.31kN で、剥落防止性能が良好であるとの判断基準である 1.5kN の 2 倍以上で変位 10mm 後の最大値となっている。変位が 30mm での荷重は 0.75kN で、変位 10mm 時から荷重が順次小さくなっている。荷重が 1.50kN 時の変位である 16.26mm が許容最大変位で、別の剥落防止工法に比べて若干小さい数値を示しているが、コンクリート中に分散された短繊維により、ひび割れ発生後即時からすぐ剥落防止効果が果たされたのが原因であると考えられる。

図-2 に、各試験体の変位が 10mm 時の荷重を示す。表-4 に示すデータによれば、連続繊維シートによる剥落防止効果は貼付け（繊維シートの貼付け工法）と埋込み（繊維シート埋込み工法）による差異はほぼなかった。なお、図-2 が示すように、繊維シート埋込み工法の方は、試験体により荷重のばらつきが大きいことがわかる。コンクリート打ち込み前に連続繊維シートに緩みがあった可能性を示している。したがって、繊維シートの埋込み工法を採用した場合は、剥落防止効果を十分に発揮させるためには、連続繊維シートの確実な固定作業が必要であることがわかる。

図-3 に、荷重による各試験体の変位を示す。図が示すように、繊維コンクリート部分打ち工法の荷重による変位の変化が別の 3 工法とは明らかに相違していることがわかる。その相違の詳細を確認するため、図-4 に、荷重が 1.5kN 近傍の荷重による各試験体の変位を拡大して示す。図-4 に示すように、繊維コンクリート部分打ちの試験体は、ほかの試験体に比べて靱性が高く、荷重の増加による変位の変化も均等で、ばらつきも小さいことがわかる。

5. まとめ

本論文は、ボックスカルバートなどの構造物の上床版の下かぶり部だけに本体コンクリートと同じ配合のコ

ンクリートに合成繊維を混入した繊維コンクリートを使用する剥落防止対策の施工性および耐力などに関して、通常の剥落防止工法と比較検討した結果のまとめたものである。その結果を次に示す。

(1) 繊維コンクリート部分打ち工法は、樹脂塗付け工法や繊維シート貼付け工法のような樹脂を使用した後施工剥落防止工法に比べて、下地の表面処理などの手間がいらないので施工性が向上される。また、本体コンクリートと一緒に施工されるため、工期の短縮にも有利である。

(2) 繊維コンクリート部分打ち工法は分散された繊維により、繊維シートを使用した剥落防止工法と同等以上の剥落防止効果を発揮させることができる。また、繊維シートのように、施工前に繊維が十分に引っ張られる状態にする作業がいらいため、施工性は向上する。

(3) 繊維コンクリート部分打ち工法による剥落防止工法は、ほかの剥落防止工法より靱性と安定性を持っているため、より安全な剥落防止効果を果たすことができる。

(4) 繊維コンクリート部分打ち工法に使用した繊維コンクリートは、構造物のほかの部分に使用するコンクリートに繊維と混和剤を現場で投入するだけなので配合修正がほとんど不要である。

参考文献

- 1) 青木圭一, 中井祐司, 多田育修: 予防保全としての剥落防止工法の開発—砂付アラミド 3 軸メッシュ工法, コンクリート工学, Vol.42, pp. 28~34, 2004. 11
- 2) 谷本竜也, 宮里心一, 前田徳一, 六郷恵哲: ECC と連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の剥落防止工法の性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1743-1748, 2004.7
- 3) 藤倉裕介, 伊藤祐二, 秩父顕美: ポリマーセメントモルタルと連続繊維シートを用いたコンクリート剥落防止工法に関する基礎実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1487-1492, 2003.7
- 4) 星英徳, 倉木修二, 清水幸範, 木村定雄: シールド工事用コンクリート系セグメントの剥落防止を目的とした繊維シートの適用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 2, pp.1375-1380, 2005
- 5) 梁俊, 丸屋剛, 坂本淳: コンクリートの分離抵抗性の簡易な定量評価方法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1174-1179, 2012
- 6) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株): 「構造関係試験方法」 pp.309, 2009
- 7) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株): 「構造物施工管理要領」 pp.42-45, 2013