

高架橋の剥落防止対策における タフガードQ-R工法の概要について

日野 友尋

近畿地方整備局 大阪国道事務所 南大阪維持出張所 (〒595-0031 大阪府泉大津市我孫子99-6)

近年、社会情勢や自然環境の変化によって、50年、100年持つと言われてきたコンクリート構造物が急速に劣化してくる事象が多発している。

原因は種々考えられるが、コンクリートの劣化は鉄筋構造物の鉄筋腐食やコンクリート片の剥落事故を招くため、最近では大きな社会問題となっている。

防止対策工法として従来のモルタルによる復旧工の他に繊維シート工法等の補修工法が考えられるが、管内の幾つかの橋梁で採用した「タフガードQ-R工法」は従来の工法に比べ様々な利点を確認されたため、従来工法と比較して本工法を紹介するものである。

キーワード 新技術、剥落防止、コンクリート補修

1. はじめに

国道 26 号線は大阪の中心部から和歌山市までに至る幹線道路である。国道 26 号線に架設されている橋梁については、各橋梁とも供用開始から長い年月が経過しており、各構造部の維持補修については様々な方法により適切に行われているところである。

一方で、我々は、良質で低コストな社会資本整備を目指し、有用な新技術のより一層の活用促進を図っており、そのような状況において、剥落防止工法タフガード Q-R 工法は近年摘要件数を伸ばしてきている。

大阪国道事務所南大阪維持出張所管内においても、平成 23 年度にタフガード Q-R 工法を施工する工事が 3 件発注されており、今回の施工を通じて、本工法の優位性や現場施工における留意すべき点について以下に述べる。



写真-1 タフガードQ-R工法施工後（堺高架橋）

2. 対象工事箇所

比較検討を行った対象現場として、平成 23 年度に剥落防止工法としてタフガード Q-R 工法を施工した国道 26 号の 3 つの高架橋を選定した。



図-1 タフガードQ-R工法施工箇所

表-1 高架橋諸元

	架設	橋梁構造	タフガードQ-R工法施工範囲
堺高架橋	1980年	P C 橋	6,762m ²
貝塚高架橋	1979年	R C 橋	1,190m ²
鳥取中高架橋	1973年	P C 橋	110m ²

対象となる3高架橋は、1970年から1980年にかけて架橋され、供用から30年以上が経過しており、コンクリートの適切な維持補修がライフサイクルコストを考える上で重要となってきている。

3. 剥落防止工法の必要性

今回の対象橋梁の他にも多数の橋梁で剥落防止工法が施工されている。構造物にこのような剥落防止工法を施工する必要性は次に挙げる2点が道路の維持管理上重要となっている。

(1) 剥離しない対策

前章でも述べている通り、我々の管理している道路には供用から数十年経過しているコンクリート構造物が多数あり、コンクリート等の劣化により破片が剥離する事象が起り得る。

しかし、コンクリート構造物からの剥離は構造物の強度低下を招くだけではなく、構造物が鉄筋コンクリートの場合、剥離箇所から雨の浸食等により中の鉄筋に錆びが生じる危険性もある。

そのため、特に供用から数十年経過するコンクリート構造物に対して、破片を剥離しない対策は必要不可欠である。

(2) 落下しない対策

構造物が剥離しない対策は必要であるが、もし剥離した場合、破片が落下しない処置が非常に重要となってくる。

なぜなら、剥離した破片が落下するまでに、巡回等で剥離を発見することができ、有効な対策を検討、施工することが可能となるからである。

道路管理において、コンクリート構造物に対し、「剥落させない（剥離しない、剥離した場合は落下させない）」ことが非常に重要であり、剥落防止工法はその2点を同時に満たしている工法である。

4. 工法選定理由

3工事において剥落防止としてタフガードQ-R工法を選定した大きな要因は施工性と経済性である。

今回の工事においては、表-2に示す比較検討¹⁾を行っており、良質で低コストな社会資本整備を目指している中では施工性、経済性に優位なポリウレタン樹脂系剥落防止工法を選出した。

表-2 剥落防止工法比較¹⁾

	ガラスクロス接着工法	連続繊維シート接着工法	タフガードQ-R工法
構造	使用材料が多い 高強度の反面、変位量が小さい	使用材料が多い	ウレタン樹脂が剥落によく追従し、耐候性・耐久性に優れる
施工性	ガラスクロス樹脂を積層するため施工性は劣る	3軸ビニロンシートを樹脂で積層するため施工性は劣る	施工工程が5工程のため施工性に優れている
経済性	安価であるがタフガードQ-R工法に比べ高い	材料が多く高価	一番安価

5. 検証と考察

発注前に議論を重ねて工法選定を行っているが、施工環境や現場条件等により想定外の結果となる場合がある。今回の工事結果を比較することで、この工法が有効かどうかの検証を行った。

(1) 経済性

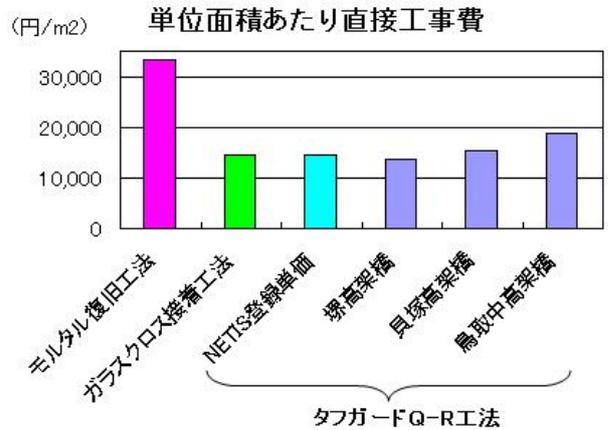


図-2 剥落防止工法比較

従来のモルタル復旧工法に比べても5割程度のコスト縮減ができています。

ここでNETIS登録単価と3高架橋の直接工事費の差は施工環境の差である。貝塚高架橋については、建築限界の関係で足場を架設することができず、結果ローリングタワー等の移動足場による施工となった。このため一日当たりの施工量が減少したため、結果として施工費がおおきくなった。

また、鳥取中高架橋では施工量が少ないため施工面積あたりの労務費単価が上昇している。

一方で、堺高架橋は、他の2高架橋に比べて想定通り

の施工が行えた結果 NETIS 登録単価よりさらにコスト縮減を行うことができた。

(2) 剥落防止性

表-3 剥落防止性比較

工法種類	付着強度 (N/mm ²)	変位 (mm)
モルタル復旧工法	1.50	10.0
ガラスクロス接着工法	1.50以上	ほぼ0
タフガードQ-R工法	2.80	50.0

剥落防止性を比較するには、付着強度と変位が重要な要素となる。

付着強度は耐荷性に関係し、高いほど剥離を生じなくなる。また、変位は剥落した場合に塗膜がどの程度まで伸びるかを表しており、剥落はするが塗膜が伸びて支えるため剥離片が落下しなくなる。

従来技術では無機材料を使うため劣化に対し弱く、クラックが入ると直ぐに剥離、破片落下となり第三者被害の危険性がある。

近年主流のガラスクロス接着工法では、付着強度が高く剥離自体の発生は減少すると推測されるが、変位がほとんど観察されずに突然クラックが入るため、剥離の発見から対策までの時間が少なく、道路管理上使いやすさとは言えない。

タフガード Q-R 工法は、付着強度が従来工法に比べて 2 倍近くあり、剥離自体の発生が減少し、さらに変位が 50mm もあるため、剥落によく追従し、剥落したコンクリート片が落下するまでに十分視認することができると思われる。

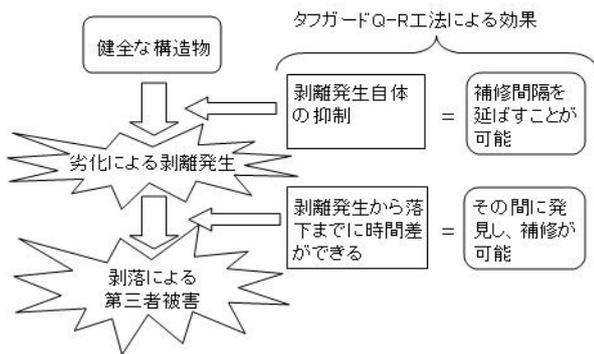


図-3 タフガード Q-R 工法による効果

図-3 に示すように、タフガード Q-R 工法は、管理上の面においても剥落防止性が高く、とても良好な結果を示している。

(3) 施工性

表-4 剥落防止工の施工工程数

工法種類	施工工程数
モルタル復旧工法	5
ガラスクロス接着工法	7
タフガードQ-R工法	5

ガラスクロス接着工法の 7 工程に比べ、タフガード Q-R 工法は 2 工程少なく 5 工程で施工でき、工期の短縮が期待できる。

また、水切りなどの複雑な形状部に対してもガラスクロス工法ではシートを形状に合わせて折り曲げていくため、シートの折り曲げ部周辺部の剥がれが心配されるが、タフガード Q-R 工法は塗装であるため、適切に施工ができ、施工性の向上が期待できる。

6. 付着強度についての考察

付着強度は剥落防止性能で最も重要な値であり、当然付着強度が大きいほど剥離片の落下を防ぐことができる。

しかし、実際には各橋梁で付着強度は大きく違っており、その原因は構造物の状態意外に、施工の前段階となる素地調整が重要ではないかと考える。

そこで付着強度について様々な条件、箇所にて 40mm 角の供試体を引っ張ることにより、以下の結果と考察を行った。

(1) 素地調整の程度による付着強度試験

試験は、堺高架橋及び貝塚高架橋ではブラスト工法による素地調整を行い、ブラストの噴射時間によりどの程度コンクリート付着強度が変化するかを確認した。

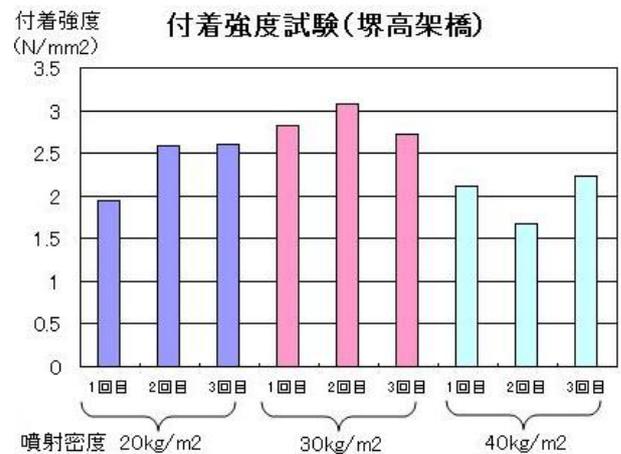


図-4 噴射密度による付着強度の差 (堺高架橋)

堺高架橋においては噴射密度が 30kg/m² 時が最も付着

強度が大きいことがわかる。

噴射密度 40kg/m² ではブラストを行い過ぎたためコンクリート表面が痛んだのではないかと推測される。

事実、噴射密度 40kg/m² の3回目の試験では、破断状況が既設コンクリートからの破断であった。

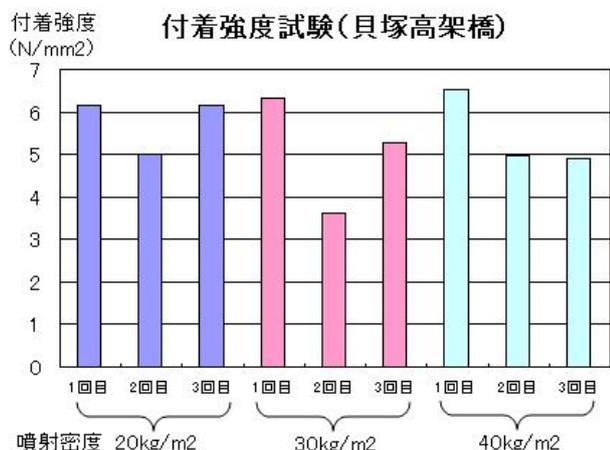


図-5 噴射密度による付着強度の差 (貝塚高架橋)

貝塚高架橋においては噴射密度が 20kg/m² 時が最も付着強度が大きいことがわかる。

噴射密度 30kg/m² の3回目の試験では値が大きく低下している。これは表面近くに骨材があるためである。

また、20kg/m² から 40kg/m² までの付着強度に大きな差は確認できず、噴射密度よりもコンクリートの材質や状態により付着強度が変化していると推測される。

2つの橋梁によって最適なブラスト噴出密度が違う結果となった。

これは堺高架橋が PC 橋だったのに対し、貝塚高架橋が RC 橋であるため、コンクリートの材質や強度に差が生じていることが考えられる

また、図-6 では対象とした 3 橋について平均付着強度の比較を行った。

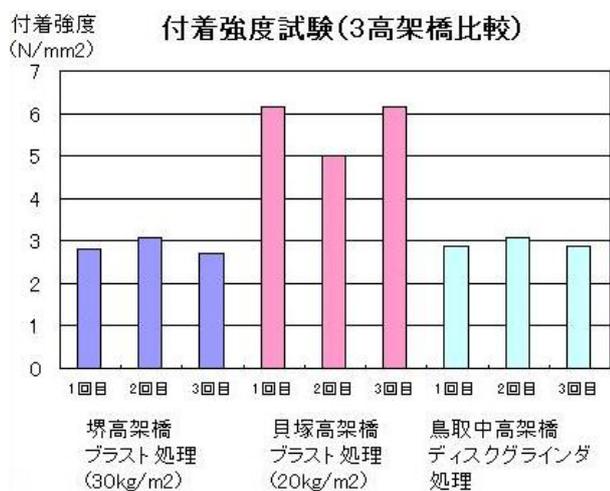


図-6 素地処理方法による付着強度の差

PC 橋である堺高架橋や鳥取中高架橋に対し、RC 橋である貝塚高架橋の付着力が大きい。これはRC 橋の方が表面の凹凸により表着面積が増加するためと考えられる。

また、同じPC 橋であるが堺高架橋と鳥取中高架橋では素地調整処理の方法に違いがあるにも関わらず、付着強度に差が生じていない。

今回の施工においては、ブラスト処理にはバキュームブラスト工法を採用しているため、付着強度の低下を招く塵の発生量は少なく、当初想定していた付着強度については十分に発揮されている。

一方でディスクグラインダ処理による素地調整処理においても、処理後の刷毛による塵の除去等を適切に行ったことにより、付着強度については十分に発揮される結果となった。

ディスクグラインダ処理でも付着強度は十分発現しているが、素地調整処理の不出来によってその後の剥落防止の付着強度に大きな影響を与えると推測され、監督職員としては、施工前の下地処理については特に留意が必要であると判断する。

(2) 施工箇所の違いによる付着強度試験

今回の施工において、3 橋の内、鳥取中高架ではタフガード Q-R 工法は断面補修箇所のみ施工している。しかし、断面補修後に剥落の危険性がどの程度あるのかは不明であり、その中で剥落防止を第三者被害が予想される箇所全てに行うという考え方もある。

そこで、断面修復箇所と剥落していない健全全部でタフガード Q-R 工法を行い、付着強度の差がどの程度あるのか試験を行った。

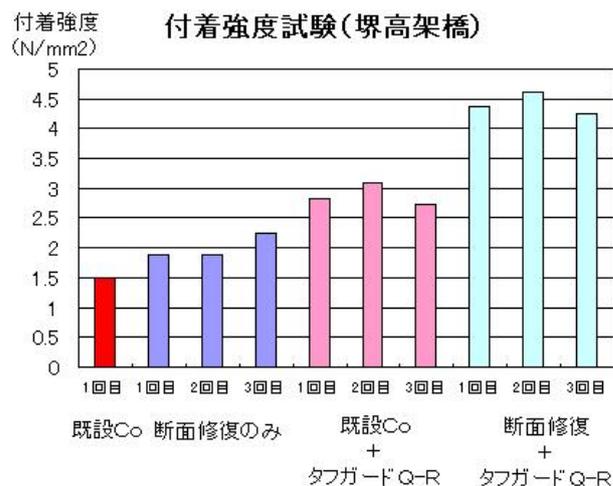


図-7 施工状態による付着強度の差

図-7は堺高架橋においての、施工度合いによる付着強度の比較である。

既設コンクリートの推定付着強度1.5N/mm²に対し、今回の施工で断面修復を行った箇所の平均付着強度は

2.00N/mm²であり、修復により付着強度が上がった事が分かる。

一方で、第三者被害防止のために健全部に対し施工したタフガードQ-R工法では付着強度は平均2.87N/mm²となり、断面修復より高い付着強度を示し、健全部に対しても効果を発揮していることがわかった。

さらに断面修復を行った箇所第三者被害防止のためにタフガードQ-R工法を施工した箇所においては平均4.40N/mm²の高い付着強度を示した。

この差は断面修復部では下地処理を行わないため、表面付着強度が増したためだと推測する。

これにより、補修部は健全部に対し付着強度が一時期は上回るが、補修目地からの再劣化が早いことなどを考えると、断面補修後にタフガードQ-R工法を施工することにより付着強度の増強は有効な補修方法であることがわかる。

7. 留意点と今後の課題

前章で述べた考察とは別に、監督職員としてタフガードQ-R工法を使用した場合、留意すべき点や今後の課題について以下に述べる。

(1) 施工範囲の決定

当初発注時に施工範囲は決定しているが、現場の条件や状態等により施工範囲が変更する必要が生じる場合がある。

その最たるものが第三者被害予防であり、橋梁によっては橋梁の高さや構造により剥落した場合の落下範囲に違いが生じる。そのため施工に際し範囲の線引きが問題となる。

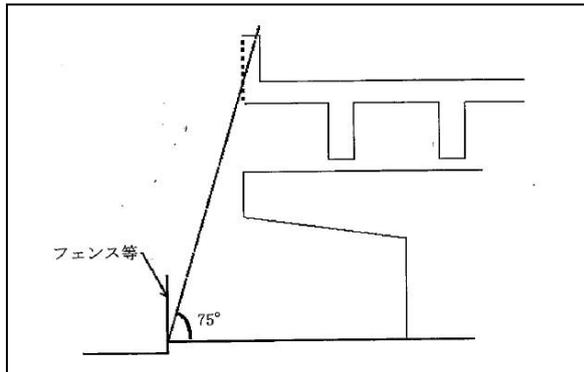


図-8 剥落防止工の対象範囲

図-8 で示される通り、剥落した破片は鉛直真下に落下するとは限らないため、外側線より75度²⁾を対策範囲と規定している。

しかし、実際の現場においては柵の有無やその形状など現場条件は現場毎に変わってくるため、対象となる剥落防止工の範囲についてはかなりの違いがあることが想定される。

どこまでを施工範囲とするかは丁寧に議論する必要があると思われる。

(2) 品質の確保

施工については、コテ・ヘラによる左官工となるため、現場における品質は、左官の技量によるところが大きい。



写真-2 左官工によるタフガードQ-R工法施工

(3) 品質の確認

今回のタフガードQ-R工法において、品質を確認する最もよい方法は膜厚を測定することである。膜厚によって品質が均一化すれば、予想された付着強度や変位を発生するはずであり、反対に膜厚が不足している箇所については想定している強度が発現せず、剥離片が大きく重い場合などは、剥離直後に落下の可能性もある。

しかし、通常の膜厚検査と違ってコンクリートに塗膜を施工していくこの方法においては、機械による膜厚が測定することができない。

また、通常塗装で行っている空缶検査については、使用量について確認できるが、膜厚の均一性については確認できないという問題もある。

そのため、膜厚管理が非常に重要となる今回の施工においては、空缶検査に加え特に未乾燥塗膜厚測定が可能なウェットゲージによる膜厚確認を行った。

このように、品質の確認方法について全体として決める必要があると思われる。



写真-3 ウェットゲージによる膜厚管理

(4) 耐久性

タフガードQ-R工法は性能上15年程度機能を維持できる計算であるため、ライフサイクルコストの低減や構造物の長寿命化に貢献できると考えられる。しかし初施工が平成16年前後であるため、効果については追跡調査が必要と判断する。

(5) 補修箇所の点検

タフガードQ-R工法は高弾性により剥落によく追従する。しかし、その高弾性によりハンマーによる叩き調査での判定がとて難しくなるという事が想定される。

今後この工法が増加していくと思われる中、施工後の剥落調査の難しさによる、浮きやひび割れの見落としが心配され、この工法を施工した後の調査方法について考えていく必要がある。

8. 最後に

第三者被害防止を考えた場合、経済性や施工性に優れ、従来補修による付着強度よりも高い付着強度を発揮し、構造物の長寿命化を維持できるタフガードQ-R工法は、非常に有効な補修方法と判断する。

一方で、素地調整や膜厚の確認方法など通常の監督方法では確認が難しい項目もあり、今後も剥落防止工法が広く施工されていく中、膜厚の品質管理基準等について議論し共有していくことが望ましいと言える。

参考文献

- 1) 国道26号堺高架橋他補修設計業務 報告書 平成22年3月
- 2) 道路橋マネジメントの手引き (2004年)