

(61) 米国でのプラスチックシースの使用状況について(報告)

琉球大学 大城 武

1. はじめに

プレストレストコンクリート(PC)の耐久性を向上させるため、コンクリート中に埋込むシースの素材としてプラスチック系材料の使用を考えてきた。そのため、平成4年6月から7月にかけて、使用実績のある米国において、連邦政府の Federal Highway Administration (FHWAと略す)、州政府の Department of Transportation (訪問先、カルフォルニア、デラウェア、フロリダ)、コンサルタント(T.Y. Lin 及びPigg)、PCメーカー(VSL及びDywidag System)等を直接訪問し、使用状況についての調査を行ってきた。本報告はその調査結果をまとめたものである。

2. 標準示方書及び指針

米国での橋梁設計・施工の標準示方書は、Standard Specifications for Highway Transportation Officials¹⁾(AASHTO示方書と略す)が用いられている。第14版(1989年)が最も新しく、第15版が今年の10月に発刊予定である。第14版以後、1990年、1991年に Interim Specifications^{2),3)}が発行され、第14版の内容が一部改訂されている。日本ではシースと言われているが、米国での示方書及び指針ではダクト(Duct)と記されているので、ダクトに統一して記述を行う。

ダクトに関しては、AASHTO示方書第14版の4.33.9.3 Ducts で亜鉛メッキのメタルダクトが規定されている。その後1991年 Interim において追加改訂がされている。Division I, Construction, Section 10 Prestressing 10.3.3にダクトに関する規定がなされている。その中で特に注目すべき事項を以下に記す。

ポストテンションで付着を考慮したPC鋼材を配置するためのダクトには、抜取り可能なコア材を用いるか、又はコンクリート中に埋込まれる剛性あるいは半剛性のダクトを用いる。コンクリート中に埋込むダクトには、メタルダクト(10.3.3.1)及びポリエチレン(Polyethylene)ダクト(10.3.3.2)の二種類が示されている。

メタルダクトに関しては、日本のコンクリート標準示方書、コンクリート道路橋施工便覧、プレストレストコンクリート工法設計施工指針等の内容とほぼ同様であるが、注目すべきことは、亜鉛メッキを義務づけて防食に配慮していることである。

ポリエチレンダクトは新しく規定されているのでその要旨を説明する。

メタルダクトに代えて、上床版中の横締め用のPC鋼材のため、又は図面中に指示され、許可されて他の位置に用いるダクトは、ASTM D3550 の材料規格を満足する高密度ポリエチレンを用いることが出来る。

ポリエチレンダクトは、PC鋼材の曲率が30フィート以下の場合には用いてはならない。コンクリートに完全に埋込む半剛性のポリエチレンダクトは、最小肉厚が0.050 ± 0.010 インチで、コルゲートの形状をしたものでなければならない。外側面には白色のコーティングを施し、又は紫外線安定剤を添加した白色材質を用いなければならない。

コンクリートに埋込まないPC鋼材に用いる剛性のポリエチレンダクトは、ASTM D2447, ASTM F714, ASTM D2239、又は ASTM D30 を満足する剛性のパイプでなければならない。外部で使う際には、この様なダクトは外径と肉厚との比が21以下でなければならない。

太陽光線又は紫外線に晒される場合には、Carbon blackをASTM D1248にもとづいた紫外線劣化に抵抗出来る量を添加すべきである。

AASHTOは上記の標準示方書の他に、Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges (1989版)⁴⁾を発行し、ブロック工法に対する設計及び施工の指針を示している。本指針の Section D 16.0 Duct Details において、メタルダクトとポリエチレンダクトを規定している。規定の内容は上記のAASHTO示方書とほぼ同様である。

州の標準示方書の中でポリエチレンダクトを規定しているのはフロリダ州の示方書である。450-3.2 Materials 項でメタルダクトとポリエチレンダクトを規定している。内容としてはAASHTO示方書とほぼ同様であるが、一部異なる点のみを記述する。

ポリエチレンダクトは、 $32(A_s)^{1/2}$ 以下の長さで、PC鋼線の終局引張強度の40%をダクトを通じて周辺のコンクリートに伝達出来なくてはならない。ここで、 A_s はPC鋼線の面積である。

プラスチック材はコンクリートと反応しないもので、又、PC鋼材に腐食をもたらすものであってはいけない。さらに、水溶性塩素も含んではならない。

上記の標準示方書及び指針に加えて、特別のプロジェクトについては州で各自の特記仕様書を作成して対処している。一例としてデラウェア州で計画中のChesapeake and Delaware Canal橋について記述する。本橋はフロリダ州のFigg Engineering Groupにより設計されたPC斜張橋である。

特記仕様書のダクト材質として、剛メタルパイプ、コルゲートメタル、コルゲートプラスチック、及びスムーズなプラスチックが示されている。コンクリート中に埋込まれるダクトは、コルゲート形状のメタルかプラスチックのいずれかとしている。コルゲートプラスチックはポリエチレンで、ASTM D3350の規格を満すべきである。この材料はコンクリートと反応するものではなく、PC鋼材に腐食をもたらしてはならない。又、水溶性の塩素も含んではならない。

ダクトの半径の1/10以上のピッチをもつ連続スパイラルのコルゲートの形状とし、肉厚は、0.050 ± 0.010 インチでなければならない。

PC鋼材の終局引張強度の40%が、2フィート6インチの長さで周辺のコンクリートにダクトを通じて伝達されなければならない。この力の伝達の確認のため静的押し抜きテストを12回行い、10回が規定値を満足した場合に合格とし、その試験結果を提出することとしている。

上記の規定はデラウェア州の特記仕様書であるが、コネチカット州で施工中のNew Baldwin 橋の特記仕様書も同様の内容が規定されている。

前述の2フィート6インチの伝達長さに対して、フロリダ州では $32(A_s)^{1/2}$ を規定している。フロリダ州における値は最近改訂されたもので、それ以前は2フィート6インチを規定していた。この2フィート6インチの規定値は、横締めのようにPC鋼線の径が小さい場合に適用されるべきもので、径が大きくなる場合にはフロリダ州で規定している汎用的な式を用いなければならない。

3. 最近の出版物に見られる記述

FHAのWalter Podolny, Jr, 博士から入手したFIPの State of the Art-report, Corrosion Protection of Prestressing (原稿)⁵⁾の中に、ダクトに関する記述がある。一般的に要求される性能がまず記述され、続いてコルゲートタイプのメタルダクト及び新しい素材のダクトが以下の様に記述されている。

最近厳しい環境下でのポストテンション鋼材及びセグメントブロックの危険部分の防食を向上させることが試みられている。そのためにはダクトそのものの腐食抵抗を高める必要がある。ダクト自身が塩素イオン及び水の透過性に優れた抵抗を持っておれば、鋼材の保護を効果的に行うことが出来る。エポキシコートメタルダクト及びプラスチックダクトは、従来ダクトに要求されている以外の腐食保護機能をそなえている。

スパイラル又はフープ形状のコルゲートポリエチレンダクトが市場に出ている。フープ形状についてはダ

ラウト性に疑問があり、空気をとじ込めたり、空隙を作ることが懸念されているが、最近のテストでは特殊な形状についてはこの面で心配の無いことが証明されている。しかし、各々についてはグラウト性能の実験を行うべきである。

プラスチックダクトを用いる際に最も大切なことは、ダクトの応力をコンクリートに伝達する性能である。連続スパイラルコルゲートプラスチックダクト、又はエポキシ樹脂塗装ダクトを用いるボンドシステムの最近の基準は、内部のPC鋼材の終局強度の40%に等しい引抜き力に抵抗出来る様に規定している。このテストの埋込み長さはPC鋼材の付着発達長さと等しくしている。グラウトとダクト、又はダクトとコンクリート面での保証荷重以下での破断は許されない。

他に懸念されることは、ある種のプラスチックの持つ化学的安定性及びプラスチックとPC鋼材間の危険な反応の可能性である。この材料的な懸念はポリ塩化ビニール(PVC)及び塩素を含有するプラスチックに関してである。プラスチックが分解し、PC鋼材の近くで塩素ガスを発生させる危険性が心配されている。この様なことは、高アルカリ性のコンクリート又はグラウト中において発生の可能性が存在するとこれらの材料に詳しい化学者によって指摘されている。ポリエチレンは化学的にPC鋼材に害を与えることは無いと言われ、コルゲートダクトがヨーロッパで1967年以来、付着のあるプレストレスト工法で用いられ成功をおさめている。

プラスチックダクトを使用する際の他の懸念は、この材料の摩滅抵抗(abrasion resistance)である。PC鋼線の挿入及び緊張時に穴があいたり、又は摩滅したりして破損したのでは、その使用目的である遮塩・遮水性を損うことになる。

ダクトの内径はPC鋼材の断面積に関係する。一般的にはPC鋼材面積の2.0~2.5倍が要求される。この限界より小さい場合には、グラウトが可能であるとの実験による証明が必要である。

以上がプラスチックダクトに関係する内容であり、前述の諸規定の解説の内容とも見られる。

FIPのレポートと同様に、PC鋼材の腐食に関して同博士がPCIに投稿中の論文⁶⁾がある。プラスチックダクトに関しては同様な内容であるか、物理的特性として新たな記述がある。ここではチューリッヒ工科大学で行われたポストテンション梁の疲労に関する研究を紹介している。

本実験において、部分的なプレストレストコンクリート梁での摩滅疲労(fretting fatigue)の解明が行われている。実験では、一般的なコルゲートメタルダクトを用いると、ダクトのリップとPC鋼材の摩擦の領域で、PC鋼材の表面に摩滅疲労が早い時期に生じることが報告されている。さらに、この問題を悪化させる摩滅腐食(fretting corrosion)の可能性もある。これらの理由から、ポリエチレンダクトには新しいコルゲート形状を考案している。鋼線に曲率のある領域では、従来のコルゲート形状では大きな応力集中を生じるが、新しく開発された形状は応力の平均化がなされている。

上記のプラスチックダクトはVSL Groupが最近開発し、紹介しているものである。このダクトについてはVSL GroupのH. R. Ganz博士がその特性を論文⁷⁾としてまとめ、プレストレストコンクリート(コンクリート技術協会)に投稿中である。ここでは緊張中の摩擦損失、ポストテンション緊張材のコンクリートとの付着特性、マルチストランド緊張材の疲労特性、及び同システムのコンクリートかぶりなど、設計上の特殊な問題に関して記述している。これらの考察から、PC鋼材に優れた耐蝕性を与え、緊張材の耐疲労性を向上させ、かつ緊張時の摩擦損失を抵減することにより効果的なプレストレスの導入が可能となっている。

4. ポリエチレンダクトの使用状況

今回訪問したコンサルタントが設計した2つの橋梁について記述する。フロリダ州で完成した Sunshine Skyway 橋においては、全面的にポリエチレンダクトが使用されている。主要使用部分はボックス断面の上床版部分の横締めとして用いている。一部の橋脚位置でコンクリート中の橋軸方向にも用いている。

しかし、橋軸方向のPCの緊張は全般的にボックス内部のコンクリート断面の外側に配置している。

ロードアイランド州で施工中のJames town-Verrazzano 橋についても上記と同様に、ボックス断面の床版中の横締め用いている。橋軸方向はボックス内部のコンクリート断面外部で緊張を行っている。

T型断面ポストテンション桁での使用はフロリダ州において行われている。施工業者の判断でメタル又はポリエチレンの選択が与えられている。ウェブ中に挿入するポリエチレンダクトとして楕円形の断面が使用されることもある。

米国でのプラスチックダクトの製造会社はPlastic Tubing Inc, Hancor Inc, 及びRyerson Plastics があげられ、いずれも円形、フラット形状のダクトを供給している。しかしいずれにしても橋梁用として製造しているのもでは無く、十分な性能をもっているとは言えない。従って曲率の生じない横締めには可能であるが、緊張力が大きく、曲率も小さくなるコンクリート中での橋軸方向の緊張に対しては材質的に問題が残されている。

5. まとめ

PC構造物の耐久性及び合理的な設計法の面から、プラスチックシースの使用を以前から提案してきた。米国においては、AASHTOのInterim(1991年)に規定され、その使用が耐久性及び経済的な面からも検討されている。日本においても耐久性向上及び新素材の有効的な活用のためにプラスチック材の使用を考える時期であると思われる。

謝辞

本調査を行うにあたり、多大な援助をいただいた株式会社ピー・エス、また米国でのアポイントメント等で御協力いただいたSumiden Wire Products Corporation 及び住友電気工業株式会社、資料の提供をいただいたVSL Group 等の関係各位に深くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) AASHTO: Standard Specifications for Highway Bridges, Fourteenth Edition, 1989.
- 2) AASHTO: Interim Specifications, Bridges, 1990.
- 3) AASHTO: Interim Specifications, Bridges, 1991.
- 4) AASHTO: Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges, 1989.
- 5) FIP: State of the Art Report, Corrosion Protection of Prestressing Steels (Draft), 1992年2月
- 6) W. Podolny, Jr.: Corrosion of Prestressing Steels and its Mitigation (Draft), PCIに投稿中。
- 7) H. R. Ganz: プラスチックシースシステム(PT-plus)の特性, プレストレストコンクリートに投稿中。