

PC 部材の耐久性向上を目的とした半透明樹脂製グラウトキャップの開発

極東鋼弦コンクリート振興株式会社技術部	正会員	黒輪亮介
同 上	正会員	広瀬晴次
同 上	正会員	笹子和弘
極東鋼弦コンクリート振興株式会社 技術研究所	正会員	山口隆裕

1. はじめに

コンクリート構造物は社会資本を構築する上で重要な役割を担っており、これまでに多くのコンクリート構造物が建設されてきた。しかし、近年一部のコンクリート構造物において早期の劣化・損傷が見受けられるようになり、その耐久性を見直す必要に迫られている。これは、プレストレストコンクリート（以下、PC と称す）橋においても例外ではなく、耐久性を向上させるべく多くの取組みがなされている。

PC 橋の耐久性を向上させるには、PC 鋼材を腐食から保護することが重要である。特に、塩害地域においては、かぶりコンクリートを厚くすることを基本とし、さらに各種樹脂を使用した被覆鋼材や高密度ポリエチレン製シースを使用し、その上でシース内へセメントグラウトを充填するといった PC 鋼材を多層にわたって保護する方法が採用され始めている。これらに伴い定着具についても樹脂塗装された物を使用するケースが多くなっている。

定着具構成部品の一つであるグラウトキャップは、定着部近傍のグラウトの充填性向上に寄与し定着具が直接空気に触れないようにするだけでなく、桁端部からの水分や塩分のダクト内への浸入を防ぐ極めて重要な役割を持っている。また、土木学会コンクリート標準示方書 [施工編]¹⁾ には、「グラウトキャップは充填が確認できる構造で非鉄製のものが望ましい」と記述されており、PC 橋の耐久性を向上させるためには、これに適合するグラウトキャップが必要不可欠となっている。

本報告は、半透明でグラウトの充填が確認できる樹脂製グラウトキャップ（以下、樹脂製 GC と称す）の開発過程と実施工への適用状況について述べたものである。

2. 樹脂製 GC の形状と材質

コンクリート標準示方書¹⁾ では、「グラウトの注入圧は、グラウトホース、ジョイント、グラウトキャップ等の耐圧から 2MPa 以下を標準とする。」と記載されている。したがって、ポンプホース、注入・排出ホース等での圧力損失を考慮すれば、グラウトキャップに生じる内部圧は 2MPa より低減された値になると判断できる。樹脂製 GC の開発にあたり、設計最大耐圧値はその経済性を考慮すると可能なかぎり小さいほうが望ましいが、施工時の安全性と現状の鋼製グラウトキャップが 2MPa の耐圧能力を有していることを考慮して、強度は 3MPa 以上、内圧 2MPa までグラウト漏れの生じないことを目標とした。非鉄製材料の選定にあたっては、この設計強度とともに耐アルカリ性や透明性、さらには経済性を考慮し、「ガラス繊維強化ナイロン (PA-GF)」を採用することにした。ナイロンは、化学構造の違いや物性の違いにより数種類存在する。したがって、最終的なナイロンの種類および形状を決定するため FEM 解析を行い、さらにいくつか試作品を作製し耐圧および止水性能試験を行った。その結果、ガラス繊維強化ナイロンの中でも繊維混入量 30% (重量比) のナイロン 6 が樹脂製 GC を構成する材料として最も妥当であると判



写真-1 半透明樹脂製グラウトキャップ

断された。これらの結果を基に、写真-1に示す樹脂製GCを作製した。樹脂製GCは、本体だけでなく注入・排気口となるニップルについてもナイロン製とし、取付けボルトはステンレス製とした。なお、作製にあたっては使用実績が多いPC鋼より線 12S12.7mm用定着具（12T13）を対象に最初に作製し、他システムへ随時展開していくこととした。

3. 性能確認試験

3.1 止水性能および変形量確認試験

グラウトキャップの水密性は、PC部材の耐久性に大きな影響を及ぼす。そこで、樹脂製GCの止水性能と注入圧による変形量を確認するため、写真-2に示すような治具を使用し水を用いた注入試験を行った。表-1に試験ケースの一覧を示す。試験は5ケースに対して行い、試験要因として、取付けボルトの締付けトルク力、水温、支圧板のロットNo.を変化させた。ボルトの締付けトルクを110N・mと20N・mにしたのは、工具あるいは電動工具を用いての締付けトルクがその間になるとの想定からである。また、ナイロンは温度依存性が強く吸水し物性が変化する素材である。図-1に一例として曲げ強さの温度依存性を示すが、一般的に温度上昇とともに強度は低下する。このため、水温を23℃および60℃の2段階に設定した。支圧板のロットNo.を2種類としたのは、支圧板が鋳造品であるためキャップと接する面の平滑度がある程度の幅を持っていることを考慮したためである。

試験結果を表-1に示す。また、水圧とキャップ頂部の変形量の関係を図-2に示す。加圧ステップは0.1MPaとし、1.0、1.5、2.0MPaの各水圧で1分間ずつ保持し水漏れ等の確認を行なった。樹脂製GCは水中に20分間浸けて置くと、1~2%の吸水率となり、载荷終了時の試験値はこの吸水状況での結果と判断できる。水温23℃の場合、締付けトルクに関係なく2MPaまで水漏れは生じず、キャップ頂部の最大変位は0.8mm程度であった。CASE5の水温60℃、締付けトルク20N・mの場合、0リングの捩れの

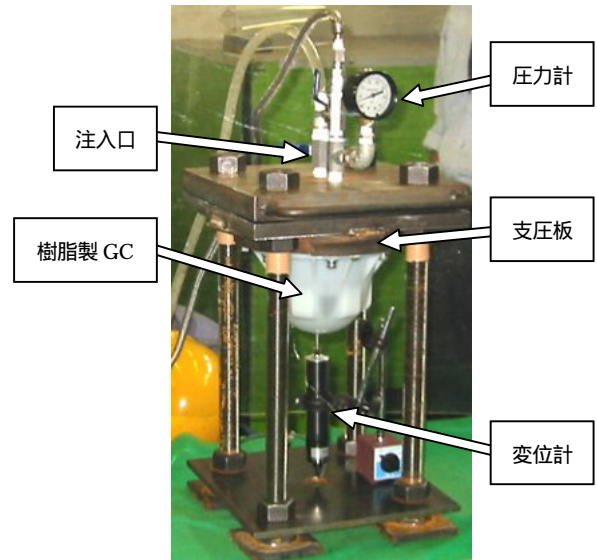


写真-2 注入試験状況

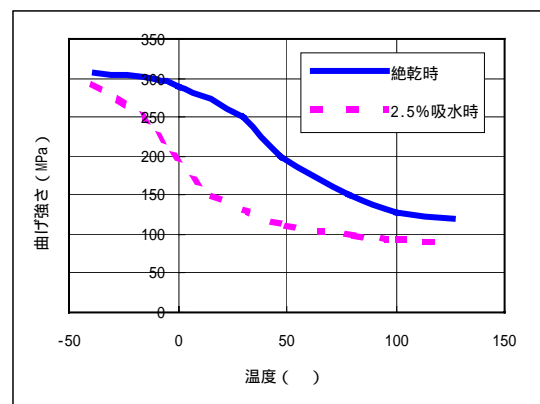


図-1 GF30%強化ナイロン6の曲げ強さの温度依存性

表-1 試験ケースおよび試験結果一覧

CASE	支圧板 ロット種別	ボルト締付け トルク (N・m)	ボルト締付け工具	使用水温 ()	設計圧 (2MPa) 時	
					変形量 (mm)	耐圧状況
1	A	110	インパクトレンチ	23	0.77	水漏れ無し
2	B	20	トルクレンチ	23	0.71	水漏れ無し
3	B	110	インパクトレンチ	23	0.78	水漏れ無し
4	B	110	インパクトレンチ	60	0.91	水漏れ無し
5	B	20	トルクレンチ	60	1.31	水漏れ無し

備考： 室温20 の恒温室内で実
すべてのキャップにニップル装着口はない。
キャップには強制吸水はせず、室内での自然吸水状態で試験。

ため加圧途中一時僅かな水漏れがあったが、自然に止水状態に戻り 2MPa 時に水漏れは生じなかった。一時的な漏水のため止水状況の確認などが他のケースより手間取り、加圧持続時間が長くなったため、変形量は 1.3mm と大きな値を示したが、実害はない程度のものであると思われる。また、変形量の測定については同様な試験により側面部についても行ったが、キャップ頂部の変形量よりも小さい結果であった。以上の結果から、開発した樹脂製 GC 本体は最大注入圧 2MPa のグラウト施工に用いても、その止水性能に問題のないことが確認できた。

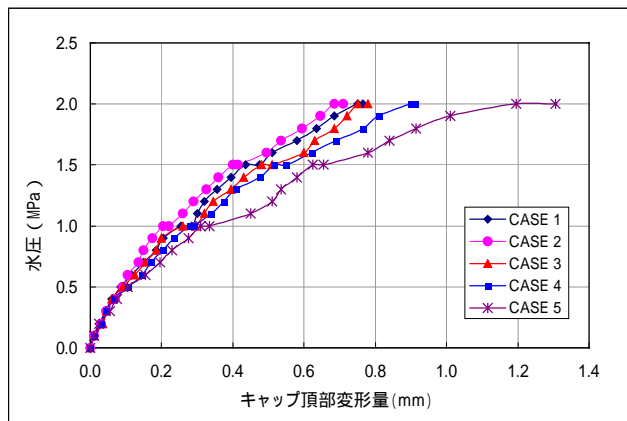


図-2 水圧と樹脂製 GC 頂部変形量の関係

3.2 耐アルカリ抵抗性能試験

従来、ガラス繊維は強アルカリ中において、時間とともに劣化すると考えられている。そこで、ガラス繊維補強量 45% の樹脂試験片を用いてアルカリ抵抗性能試験を行い、劣化の有無を確認した。ガラス繊維補強量を 30% ではなく 45% としたのは、ガラス繊維の影響を顕在化させることを意図してのことである。また、比較のために補強量 0% の場合も試験した。使用しているガラス繊維は、プラスチック強化用のものである。アルカリ環境としては 20%NaOH 水溶液 (pH13 程度) に浸水して、促進試験を行った。温度環境は、23℃ と 70℃ の 2 ケースについて行い、浸水時間は、それぞれ 24hr、50hr、100hr の 3 ケースとした。また、吸水による影響をキャンセルするため、純水に浸水した試験も並行して行った。測定項目は、重量、寸法、引張強度、及び曲げ強度の変化率とした。ちなみに、10%NaOH 水溶液での 70℃、100hr の浸水試験は、屋外暴露 10 年に相当する。

試験結果を表-2 に示す。この結果は浸水前と後の差を吸水の影響を除いて、変化率又は保持率で表したものである。重量、寸法、引張強度、曲げ強度の変化はなく、アルカリによる影響の全くないことが示されている。

表-2 耐アルカリ抵抗試験結果

測定項目	浸水時間 (hr)	GF補強量 0%		GF補強量 45%	
		養生温度 ()		養生温度 ()	
		23	70	23	70
重量変化率 (%)	24	0	0	0	0
	50	0	0	0	0
	100	0	0	0	0
寸法変化率 (%)	24	0	0	0	0
	50	0	0	0	0
	100	0	0	0	0
引張強度保持率 (%)	24	99	100	99	98
	50	98	100	99	100
	100	98	98	98	100
曲げ強度保持率 (%)	24	100	98	100	100
	50	100	98	100	100
	100	100	100	100	99

備考： 重量変化、寸法変化、引張強度の試験片はASTM1号ダンベル
曲げ強度の試験片は幅1/2" × 厚さ1/4" × 長さ5"

4. 実橋によるグラウト注入試験

以上のような過程で開発した樹脂製 GC の現場での実証確認を「川島本線 3 号橋上部その 1 工事」において行った。樹脂製 GC を用いてグラウト注入を行ったのは主桁 14 本分の計 70 ケーブルで、桁長は約 32m であった。したがって、樹脂製 GC としては、140 個の注入試験を行ったこととなる。グラウト用混和剤にはセバックス 208 を用い、W/C=42%、JP 漏斗の流下時間は約 14 秒、グラウト練り上がり温度は 30℃、注入量 10 ~ 15ℓ/分、流量計における最大注入圧 1.2MPa 程度で行った。樹脂製 GC の取付け状況を写真-3 に示す。

樹脂製 GC にグラウトが注入されると、太陽光の下でグラウトが陰影となり、充填されていく状況を明確に確認することができた。その状況を写真-4 に示す。雨天時などにおいても、ある程度の明るさがあれば確認可能であると推察された。もし、日暮れ後などで確認しづらい場合は、懐中電灯などで照らせれば容易に見ることができると思われる。注入の結果、樹脂製 GC と支圧板との接合部からのグラウトの漏れは全く生じ

なかった。ただし、数箇所でのニップル取付け部からグラウトの滲み出すような漏れが生じた。ここは、ニップルと樹脂製 GC 本体がねじにより接合されている部分であり、漏れが生じたニップルは全て 45 度前後回せるほど緩んでおり、このことが漏れの発生した原因と考えられた。この緩みは、ホース取付け後にホースの収まりを調整する際に生じたものと思われ、グラウト注入前に再度ニップルの締め込みを確認することの重要性が示された。



写真-3 樹脂製 GC の取付け状況

表-3 施工現場概要

工事名	首都圏中央連絡自動車道 「川島本線3号橋上部その1工事」
工事場所	埼玉県比企郡川島町
発注者	国土交通省 関東地方整備局
施工会社	興和コンクリート株式会社



写真-4 グラウトの充填状況

5. おわりに

PC 部材の耐久性において、定着部近傍の防錆が極めて重要であるとの認識から、非鉄材料であり、かつグラウトの充填が確認できる樹脂製 GC の開発を行った。各種性能試験の結果、開発した樹脂製 GC が強アルカリ環境下で十分な耐圧止水性能を保有していることが明らかとなった。また、現場での実証試験を終えて、グラウトの充填状況が確認できることの重要性を再認識する結果となった。これは、万一キャップ内に未充填箇所が生じた場合でも、その規模の確認と場所の特定は容易であり、再充填の処置も行い易くなるからである。完全充填のグラウトと樹脂製 GC による 2 重防錆は、端部から塩分などがダクト内へ侵入することをほぼ完全に防御し、構造体の耐久性をより高いレベルで保証できるものと考えられる。

なお、12T13 用の樹脂製 GC は、その後も 2 つの現場で実証試験を行っている。キャップ数量で表せば 700 個に近い試験施工を行ったことになる。また、他システムに対応した樹脂製 GC の作製にも着手し、現在 4 つのシステム (12T13・12V13・12TC13・12TC15) に対応した樹脂製 GC を準備している。

参考文献

- 1) 土木学会, コンクリート標準示方書 [施工編], 2002 年 3 月
- 2) エンプラ技術連合会, エンプラの本 (第 3 版), 2001 年 9 月

謝辞)川島本線 3 号橋におけるグラウト注入作業では、国土交通省 関東地方整備局 大宮国道事務所 斎藤憲彦建設監督官、ならびに興和コンクリート株式会社 渡辺訓氏をはじめ多くの方の御協力を賜った。また、樹脂製 GC の作製にあたっては、東レ株式会社 吉野徹之氏ならびにジャパンライフ株式会社 石井千尋氏に大変お世話になりました。ここに関係各位に感謝の意を表します。