

北海道開発局 開発土木研究所 正会員 小尾 稔  
 北海道開発局 開発土木研究所 正会員 堺 孝司

1. まえがき

これまで、塩害および凍害などによって損傷を受けたコンクリート構造物の補修・補強が数多く行われてきているが、それらの材料は冬期の季節風がもたらす厳しい自然環境下に長期間おかれると、凍結融解などによる物理的な損傷あるいは化学的な劣化を起こすことが多い。本報告は、架設後32年、補修・補強後13年を経過したPC橋の劣化度および耐荷力を調べるために行った調査・試験<sup>1)</sup>の第2報であり、材料試験、塩分量測定結果およびPCケーブルのグラウト充填と鋼線腐食状況との関係について述べるものである。

2. 試験概要

材料試験としては、PC鋼線、鉄筋、および補修・補強に使用されたエポキシ樹脂含浸のガラス繊維(以下FRP)と鋼板、鋼板接着に使用されたエポキシ樹脂系グラウトについて引張強度試験を行った。なお、FRPはガラス繊維が1層接着されたものと、2層接着されたものについて行った。試験方法を表-1に示す。塩分量測定は、桁コンクリートとFRPについて行った。桁コンクリートについては、深さ方向の塩分浸透量の他に、試料採取位置を橋軸方向または横断方向にとり、橋全体の位置の違いによる塩分浸透量の違いを検討した。FRPについては、採取したFRPの表面および接着面を削り取りこれを試料とした。試料の分析方法は、当研究室において行っている方法によった。すなわち、①試料を0.15mm以下に粉碎②45~50℃で8時間以上乾燥③10g 精秤(可溶性塩分量測定は40g 精秤)④H<sub>2</sub>O 200ml 添加⑤ウォーターバスにより100℃、1時間強制攪拌(可溶性塩分量測定は、振とう機で15~20℃、30分間攪拌)⑥5分間放置⑦0.45μmメンブランフィルターで濾過⑧JIS K 0101 32.1 吸光光度法による塩化物イオンの分析、の手順で行った。

3. 試験結果および考察

PC鋼線の設計時の引張強度と補修材料のメーカー保証値および本試験結果を合わせて表-2に示す。PC鋼線の引張強度は156kgf/mm<sup>2</sup>となり、設計時より約5.5%低下していた。鉄筋の引張強度は35~50kgf/mm<sup>2</sup>と試料によって大きくばらつきが生じた。試料によっては降伏点が明らかでないものがあった。FRPの引張強度は2層接着で17.5kgf/mm<sup>2</sup>、1層接着で16.8kgf/mm<sup>2</sup>となり、弾性係数は2層接着で2.04×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>、1層接着で1.94×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>となった。2層接着のFRPについてメーカー保証値と比較すると、引張強度は約60%の低下である。弾性係数は、約18%低下していた。図-1にFRPの応力-ひずみ曲線を示す。応力の増加とともにガラス繊維が少しずつ破断していった。

鋼板接着に使用されたエポキシ樹脂系グラウトは、本橋の載荷試験時には鋼板の錆により既に剥離し亀甲状に割れていた状態であったが、引張試験を行った結果、引張強度と弾性係数ともにメーカー保証値より低下していなかった。これは、桁表面に接着されていたFRPとは異なり、鋼板により紫外線など外部からの影響を受けにくかったことによるものと思われる。

表-1 試験方法

	試験方法	試験片加工
PC鋼線	JIS Z 2241	JIS Z 2201
鉄筋	"	"
鋼板	"	"
FRP	JIS K 7054	JIS K 7054
エポキシグラウト	JIS K 6911	JIS K 6911

表-2 設計時強度、メーカー保証値および本試験結果

	引張強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )		弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	設計時強度 メーカー保証値	本試験	メーカー保証値	本試験
PC鋼線	165	156	-	18.8×10 <sup>5</sup>
鉄筋	-	43.6	-	20.3×10 <sup>5</sup>
鋼板	-	35.4	-	20.6×10 <sup>5</sup>
FRP 2層	45.0	17.5	2.50×10 <sup>5</sup>	2.04×10 <sup>5</sup>
FRP 1層	-	16.8	-	1.96×10 <sup>5</sup>
エポキシグラウト	4.0	6.27	0.25×10 <sup>5</sup>	0.30×10 <sup>5</sup>

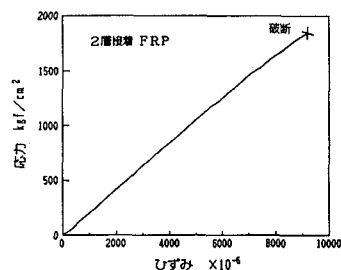


図-1 FRPの応力-ひずみ曲線

図-2に、軸方向塩分浸透深さについて示す。建設省の塩化物総量規制値である $0.60\text{kg}(\text{Cl}^-)/\text{m}^3$ 以上の塩分が混入している深さは、海側面で約24mm、山側面で約15mmであった。実際の腹部スタラップのかぶり厚が平均21.7mmであったことから、鉄筋は腐食が発生する条件下にあったものと思われる。橋横断方向の塩分量比較を図-3に示す。3本の桁を比較した場合、最も海側にある第5桁よりも第4桁の塩分量が全体的に多いことがわかる。これは、第5桁が雨水にさらされること、また、海から吹く風が海塩粒子とともに橋の下で滞留を起こすことなどによるものと考えられる。

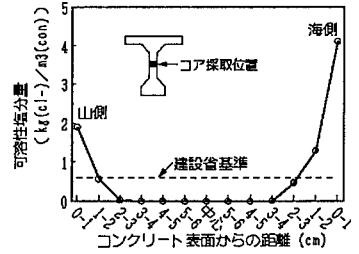


図-2 軸方向塩分浸透深さ

図-4に、橋軸方向の塩分量を示す。図は山側の耳げたにあたる第1桁について調査を行ったものであるが、桁山側面は海側面に比べ、雨水により表面の付着塩分が洗い流されたためか塩分浸透量が少ない傾向にある。海から吹く風が、橋脚、橋台および横桁部付近において滞留を起こすことによりその箇所の付着塩分量が多くなると思われたが、調査結果からはその傾向は見られなかった。

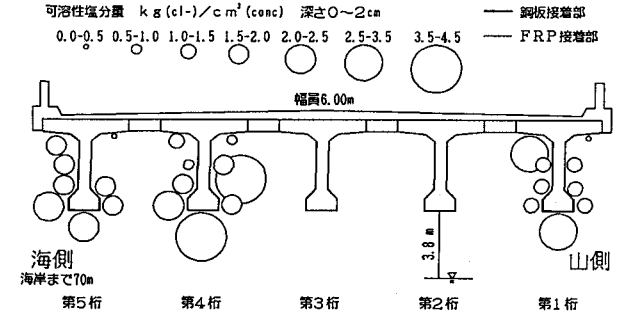


図-3 橋横断方向の塩分量

FRPは、補修・補強と同時に遮塩効果も期待できる。既往の研究<sup>2)</sup>では、厚さ2000 $\mu\text{m}$ のFRPでは、 $4.8 \times 10^{-9} \sim 8.2 \times 10^{-2} \text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$ 程度の塩素イオンを透過することが指摘されている。FRP貼り付け後13年経過した本橋から採取したFRP(1層接着および2層接着)について調査した結果、塩分浸透量の最も多かった第4桁底面のFRPで $2.58 \times 10^{-2} \text{mg}/\text{cm}^2$ であった。

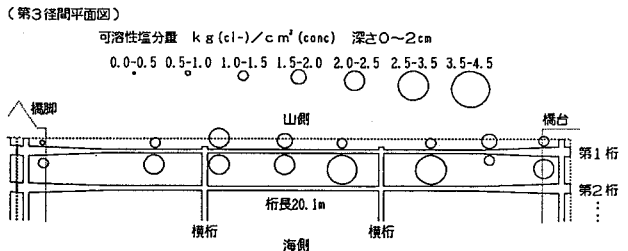


図-4 橋軸方向の塩分量

図-5に、第1桁のグラウト充填状況とシー・PC鋼線腐食状況を示す。桁底面の3本のシーのうち、中央のシーBは全長にわたってグラウトが全く充填されていない状態であった。またシー内部には水は入っていなかった。シーは継ぎ目部を中心に断面欠損の著しい腐食が生じていた。PC鋼線は腐食が連続してはいないものの、所々点状に断面欠損を起こしていた。しかし、シー上にはびわれがなかった。このことは、シーの腐食による膨張圧が空洞によって緩和されたことによると思われる。

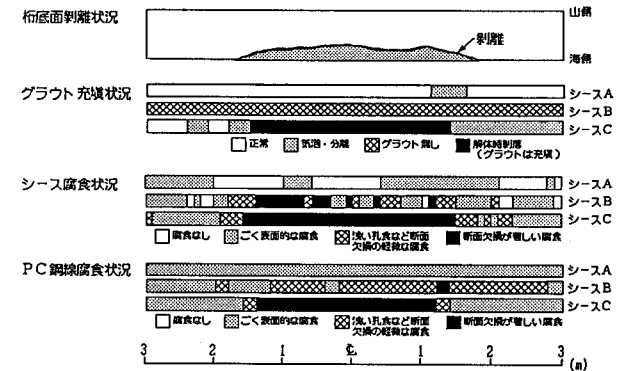


図-5 グラウト充填状況とシー・PC鋼線腐食状況

〈参考文献〉1)小尾, 堺: 補修・補強を施したPC橋の劣化および耐荷力, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, 第5部, 1990, PP.686-687. 2) 日本コンクリート工学協会 防食研究委員会報告: 鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術-技術の現状-, 1989年1月, PP.60.