

(41) 10年間海岸に暴露したPC桁の劣化度調査

北海道開発局開発土木研究所 正員 太田利隆
 同 堀孝司
 同 〇佐々木慎一
 北海道開発局小樽開発建設部 高柴保明

1. まえがき

北海道でポストテンションPC桁が施工されるようになったのは、昭和29年からであるが、間もなくこれらの桁にグラウトの品質不良や注入不良によるシーに沿った縦ひび割れが発生していることが判明した。そこでPC桁の縦ひび割れが構造物に及ぼす影響を調査する目的で、北海道の日本海側に位置する留萌海岸でPC桁供試体の暴露試験を行った。試験の要因は、縦ひび割れの有無、グラウトの品質、シーのかぶり等である。

本報告は、10年間暴露した供試体30桁の解体調査結果である。

2. 調査概要

図-1に暴露供試体の諸元を示す。供試体は、20cm×25cmの断面をもつBBRVポストテンション方式によるPC桁で、長さはプレストレスを導入しないN型で95cm、プレストレスを導入したP型で145cmである。また、シーの径は36mm、PC鋼線はφ7mm-7本である。

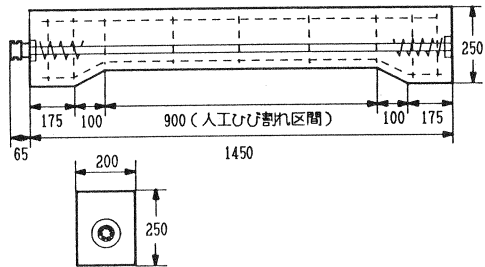


図-1 供試体諸元 (単位はmm)

表-1に供試体の種類と製作本数を、表-2に使用したコンクリートの配合を示す。

表-1 供試体の種類、製作本数

PC桁は蒸気養生した後、コンクリートが所定の強度になったことを確認してプレストレスの導入を行った。導入時のコンクリート強度は448kgf/cm² (f'c=260kgf/cm²)、標準養生を行った28日圧縮強度は645kgf/cm² (f'ck=400kgf/cm²)である。定着後のプレストレス導入力は約25tonf、PC鋼線の応力度にして94.5kgf/mm²である。クリープ、乾燥収縮終了後の有効プレストレスは75.1kgf/mm²と推定される。

グラウト 種別	かぶり(mm)	ひび割れ幅(mm)	P型(本)	N型(本)
A (指針に適合)	36	なし	2	2
		0.2	2	2
		0.5	2	2
	54	なし	2	2
		0.2	2	2
		0.5	2	2
B (w/c=0.70 その他は指針 に適合)	36	なし	2	2
		0.2	2	2
		0.5	2	2
	54	なし	2	2
		0.2	2	2
		0.5	2	2
C (グラウトなし)	36	なし	4	—
	54	0.5	2	2
合		計	34	26

表-2 コンクリートの配合

グラウトの品質は表-3に示す通りである。桁を斜めにして下部からグラウトポンプを用いて注入したが、桁の底面を上にしたため気泡などの欠陥が桁底面に集中することとなり、縦ひび割れがPC鋼線の腐食に及ぼす影響が大きくなった。

骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	水セメント比(X)	細骨材率(%)	単位量			
				水(kg)	セメント(kg)	細骨材(kg)	粗骨材(kg)
2.0	4~6	3.8	3.8	144	380	754	1212

縦ひび割れはコンクリート打設時に鋼板を設置し人工的に導入したほか、シーに水を

注入し凍結膨張により導入したが、ひび割れ幅の制御はできず、0.3～1.5mmと比較的大きいものがあった。

表-3 グラウトの品質

種類	W/C (%)	水 (kg)	トント (kg)	混和剤		ブリージング率 (%)		収縮率 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
				#7グラス(g)	74ミ粉(g)	3時間	24時間		7日	28日
A	40	32	80	200	4	0.45	0	-0.4	(338)	288
B	70	56	80	200	4	3.4	7.0	0.25	156	196

供試体は、汀線から30～40m、地上1～4mの桁台に暴露した(写真-1)。

3. 調査方法

調査項目と方法、測定箇所について概要を表-4に示す。

4. 結果及び考察

(1) ひび割れ幅

ひび割れ幅は暴露開始時点では平均0.72mm、標準偏差0.43mmであった。しかし、10年後にはそれぞれ2.30mm、1.50mmに変化していた。

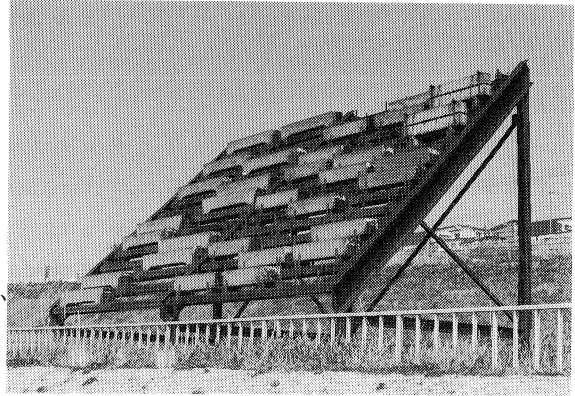


写真-1 暴露状況

表-4 調査項目、方法及び測定箇所

調査項目	調査方法	測定箇所
ひび割れ幅の測定	測微鏡による測定(暴露開始時, 5年後, 解体前)	シースの直上で5cm間隔に19点
自然電位測定	供試体を一定時間吸水させた後、飽和硫酸銅電極を用いて測定した	同上
かぶり厚きの測定	シース、スターラップ、組立筋について行った	桁中央と中央から両端へ30cmの点
中性化深さの測定	フェノールフタレイン1%エタノール溶液を用いて測定	桁中央と中央から両端へ30cmの点
グラウトの充填状態調査	目視によりケーブル断面の充填状態を測定した	ケーブル中央と中央から両端へ30cmの点、その他異常が認められた点
シース、PC鋼線の腐食状況調査	表-5、6に示す基準にしたがって目視により分類した	シースを展開してPC鋼線を取り出し中央から5cm間隔に19点
塩分量調査	試料を0.15mm以下に粉碎し、全塩化物量※1と可溶性塩化物量※2を抽出し、吸光光度法により測定した	桁から水平・垂直方向にコアを採取

※1...100℃の水中で1時間振とう攪はん
 ※2...20℃の水中で30分間振とう攪はん

表-5 シースの腐食判定基準

記号	目視による観察状況
I	健全。施工当初のものと思われる非常に弱い浮き錆がある。
II	軽度の腐食。指でこすると落ちてしまう程度の弱い錆がある。
III	中度の腐食。指でこすっても落ちない、シースを曲げるとひび割れが発生する。
IV	重度の腐食。指でシースを砕ける。解体時に振動でシースが破損する腐食。

表-6 PC鋼線の腐食判定基準

記号	目視による観察状況
A	健全。施工当初のものと思われる非常に弱い浮き錆が発生している。
B	軽度の腐食。断面欠損を伴わない(指でこすると落ちる)程度の腐食。
C	中度の腐食。大きな断面欠損は生じていないが、指でこすっても落ちない腐食。
D	重度の腐食。断面の2～3割が腐食により欠損している。
E	重度の腐食。断面の5割以上が腐食により欠損している。

(2) 中性化深さ

中性化深さは、1mm～3mm程度で本試験環境下では進行速度は遅く、コンクリートの健全部では鋼材の腐食に影響はないといえる。

(3) シースのかぶり厚さ

シースのかぶりは、所定の値に比べ-5mmから+12mmの範囲に分布していたが、本報告では誤差を考慮せずにデータ整理を行った。

(4) コンクリート及びグラウト中の塩化物量

図-2はコンクリート中の全塩化物量である。水平方向では、シース位置の塩素イオン量は36mmで約0.8kg/m³と土木学会RC示方書で定められた0.6kg/m³を超えている。一方、54mmで約0.1kg/m³となっている。また、垂直方向については、上面より下面で塩化物量が多くなっていることが特徴としてあげられる。

グラウトの全塩化物量は、シースの腐食程度Iの場合16.8g/m³(W/C=40%)、29.4g/m³(W/C=70%)で、当初から含有していたものと考えられる。一方、腐食程度IVの場合にはシースの欠損部分から塩化物が浸透したと考えられる。塩素イオンの含有量にはグラウトのW/Cの影響が認められ、W/C70%では7451.5g/m³、W/C40%では3027.8g/m³と2倍以上になっていた。

塩分量 (Clイオン/m³-CON)

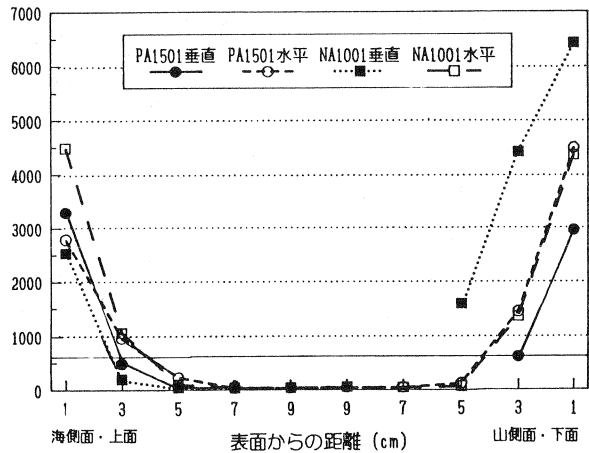


図-2 コンクリートの全塩化物量

(5) PC鋼線・シースの腐食

① 縦ひび割れのない供試体の場合

シースの腐食程度の割合をみると、かぶり36mm、54mmともに90%以上が腐食程度Iで、ほとんど腐食は生じていない。また、PC鋼線の腐食程度も全ての測点で引張力に影響を及ぼす腐食は生じていない。

② 縦ひび割れのある供試体の場合

図-3はグラウトのW/Cとシースの裏面の腐食、PC鋼線の腐食の関係を表したものである。シースの場合、腐食程度III、IVの割合が79%、86%とグラウトのW/Cによる違いはみられない。しかし、PC鋼線の腐食は腐食程度A、Bの割合がW/C40%で39%、W/C70%で15%と明らかに違っている。この原因として先に述べたグラウト中の塩化物量と、グラウトの充填状態の良否が考えられる。

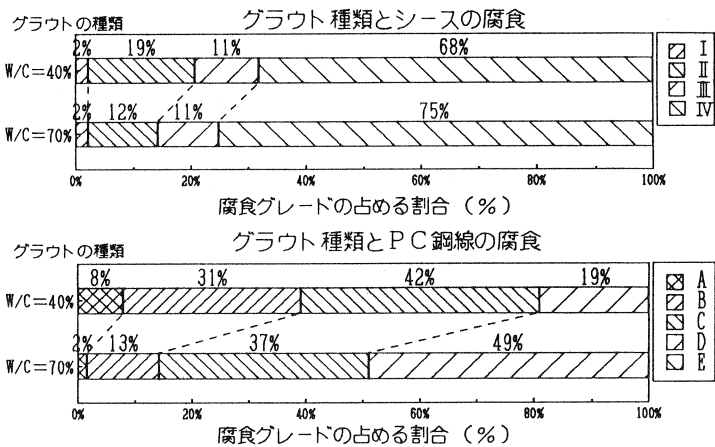


図-3 グラウトのW/Cとシース、PC鋼線の腐食程度

グラウトのW/Cと充填程度との関係はW/C40%の場合、グラウトがほとんどすべてのPC鋼線を包んでいる”充填程度90%以上”が全体の80%あるのに対して、W/C70%では37%に過ぎず、反対に断面の半分以下しか充填されていないものが30%あった。注入は同一の装置を使

用し同様の手順で行ったので、この差は注入後の材料分離などによって発生したものであるといえる。

図-4はグラウトの充填程度とPC鋼線の腐食程度である。充填程度90%以上の場合、W/C70%でCの腐食がみられ、W/CによるPC鋼線の腐食の差が現れている。一方、充填程度が悪いときにはグラウトのW/Cに関係なく腐食が進行している。

(6) 自然電位と鋼材の腐食
自然電位とシーす、PC鋼線の腐食の関係を図-5に示す。シーすとの場合では-200mVより貴の範囲で腐食程度IIが81%あり、それより卑のときと比較して健全な部分が多くなっている。しかし、PC鋼線はシーす・グラウトの影響を受け、明確な相関がみられない。

5. まとめ

今回の調査の結果から以下のことがいえる。

- ① ひび割れ幅は、当初平均0.72mmであったものが本調査時点では平均2.30mmになっていた。
- ② コンクリートの中酸化は小さく、縦ひび割れのない場合鋼材腐食への影響は少ない。
- ③ グラウトのW/Cの違いは充填状態の差となって現れ、PC鋼線腐食に大きく影響した。
- ④ 当初からひび割れのない供試体では、シーすの腐食、PC鋼線の腐食ともに認められずひび割れが耐久性上重要な因子になっていることが確認された。
- ⑤ 当初からひび割れのある供試体では、シーすの腐食が著しい箇所が多く、グラウトも多量の塩化物を含有していた。しかし、グラウトの充填状態が良好の箇所ではPC鋼線の腐食はほとんどみられなかった。
- ⑥ 自然電位とPC鋼線の腐食に明確な相関は認められなかったが、シーすは-200mVより貴の範囲では腐食程度の軽いものが多かった。

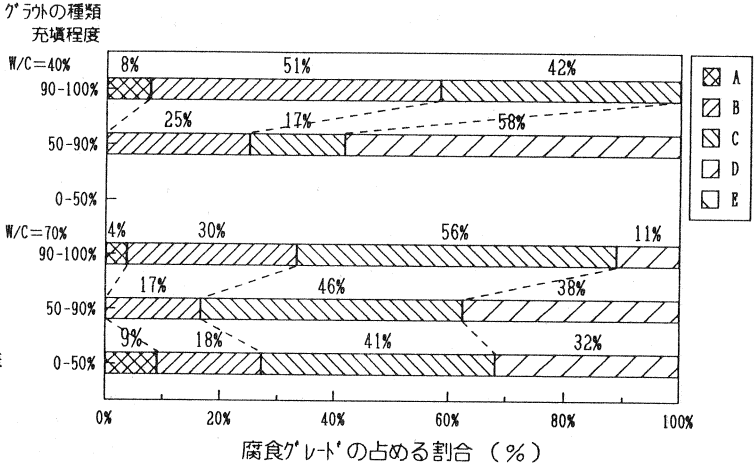


図-4 グラウトの充填程度とPC鋼線の腐食程度

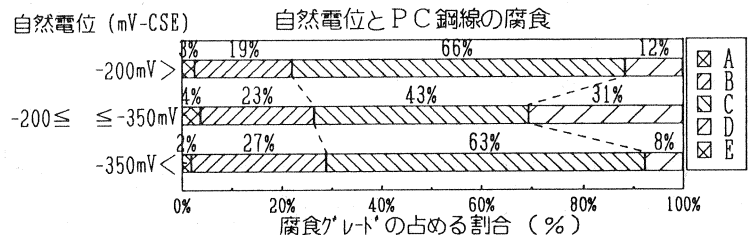
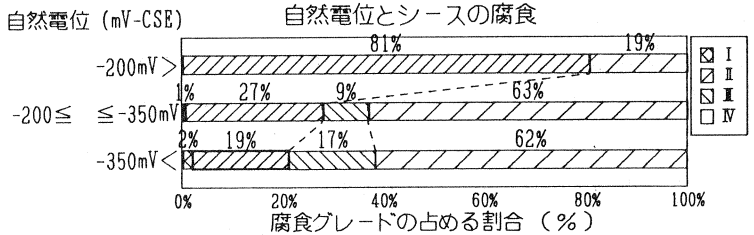


図-5 自然電位とシーす、PC鋼線の腐食程度