

(63) 非鉄シース実用化への基礎試験

PC建協本部施工部会 正会員 中條 友義
 正会員 ○寺下 貢
 正会員 油原 邦夫

1 はじめに

コンクリート構造物にとって海岸付近の一部地域や海砂の使用により塩害に対して厳しい環境にあるが、昭和59年に「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」が刊行され、さらに昭和61年コンクリート中の塩化物総量が規制され、またプレストレストコンクリート橋では耐塩害材料として炭素、アラド繊維系等の緊張材の実用化、エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用、インサート、スペーサー等の補助材料の開発、実用化が進められてきた。本試験はさらに耐久性向上を目指し、非鉄シースとして水密性、耐腐食性の優れた波付き硬質ポリエチレン(FEP)管の実用化を計る目的で行った基礎的試験の報告である。図-1に本試験に使用したFEP管の構造図、表-2に寸法特性を示す。

2 試験概要

シースにはコンクリート打設時の外圧に対する耐圧性、コンクリート及びグラウトとの附着性、シース配置時に曲線に対し自由に対応できる可撓性及び取扱の容易性等が要求される。試験は12T13 tendonを想定しストランド先挿入用として呼び名φ65を、後挿入用にφ80 FEP管が上記要求項目に対する適否の判断を行うもので試験概要を表-1に寸法特性を表-2に示す。なお試験に使用したコンクリートの設計基準強度は400kgf/cm²とし、早強セメントを使用した。配合を表-3に示す。

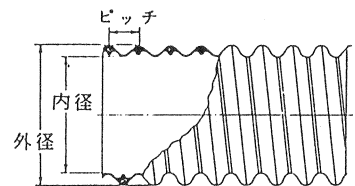


図-1 FEP管構造図

表-1 試験概要

試験名	試験内容	シース		供試体数	特記事項
		径	種類		
FEP管の品質試験	等圧外力に対する抵抗力試験	65	FEP	3	試験荷重 ; P=237.8kgf/cm ²
		80	"	3	試験荷重 ; P=333.3kgf/cm ²
	局所的な外力に対する抵抗力試験	65	"	3	
		80	"	3	
	内水圧試験	65	"	3	
		80	"	3	
	耐薬品性試験		"	3	メーカー試験成績表による
押し抜き剪断試験		65	"	* 6	供試体寸法=150×150×100 * ; A、B社各3ヶの合計である
		80	"	* 6	
		65	鋼製	3	
		80	"	3	
ひび割れ試験	蒸気養生により部材の温度が上昇する場合	65	FEP	15	供試体寸法=300×300×500 かぶり=4,5,6,7,8cm各3体
	気温により部材温度が上昇及び下降する場合	65	"	9	供試体寸法=250×250×500 かぶり=4,5,6cm各3体
グラウト注入試験		65	"	5	排気管3本付3体、排気管1本付2体
グラウト充填確認試験		65	"		

FEP管は表示のないものはA社製を使用した。

表-2 FEP管寸法特性

呼び名	内径(cm)	外径(cm)
65	6.8	8.1
80	8.1	10.3

表-3 供試体コンクリート配合

セメント(kg)	水(kg)	細骨材(kg)	粗骨材(kg)	混和剤(kg)	W/C(%)	S/a(%)	スラフ(cm)
400	140	817	1108	6.4	35.0	43.0	8±2.5

3. 試験方法

3.1 FEP管の品質試験

1) 等圧外力に対する抵抗力試験

試験方法は(土木学会:コンクリート標準示方書 28.10.4シー스의試験(i))によった。φ65、80のFEP管製品より、4D[*D=管外径(cm)]の長さに取り取った資料を荷重 $P = \pi D^2$ (kgf)を10分間載荷し、その時試料にヒビ、割れ等の異常がないかを試験した。

*:標準示方書では内径になっているがFEP管の場合内径と外径の差が大きいためD=外径とした。

2) 局所的な外力に対する抵抗力試験

試験方法は(土木学会:コンクリート標準示方書 28.10.4シースの試験(ii))を準拠し、3.1試験の要領で採取した試料内側に、0.8Dの直径を有する丸鋼を挿入し、平面上に置き、試料中央直角にφ9mmの丸鋼で荷重を短時間で載荷し、管内の丸鋼と管内面が接した時、試料にヒビ、割れ等の異常がないかを試験した。

3) 直管継ぎ手内水圧試験(参考試験)

FEP管相互を直管継ぎ手を用いて接続し、水圧試験機で継ぎ手部より水漏れ発生まで試験体に内水圧を加え、耐内圧を試験した。

3.2 押し抜き剪断試験(供試体等は表-1参照)

グラウトとシーソおよびシーソとコンクリートとの剪断耐力を鋼製シーソと比較するため押し抜き方法で行った試験である。グラウトの配合を表-4に示す。試験方法は図-2のコンクリート供試体にグラウトを充填し圧縮強度発現後200tアムスラー試験機で毎分3t以下の荷重速度でグラウトを押し抜き、1/1000mm変位計でグラウトの上部変位量、ロードセルにより荷重を計測し、 $\tau = P / \pi D L$ (kgf/cm²)より付着応力度を求め、(付着応力度-変位)曲線を描き、これら曲線からFEP管と鋼製シーソの剪断耐力を比較し評価を行った。ここにP:押し込み荷重、D:シーソの内径、L:埋め込み長さ

表-4 グラウト配合

試験名	セメント(c) (kg)	水(W) (kg)	混和剤(P) (g)	P/C (%)	W/(C+P) (%)
押し抜き剪断試験	40	14.5	400	1.0	36.0
気温の上昇及び降下により部材温度が変化する場合	40	14.2	600	1.5	35.0
グラウト注入試験	80	28.4	1200	1.5	35.0

3.3 シースによる縦ひび割れ試験(供試体等は表-1参照)

FEP管をシーソとして用いた場合、コンクリートとの熱膨張率が異なる為に温度変化によりコンクリートにひびわれが発生する可能性がある。コンクリート部材に与える温度変化として蒸気養生、気温による場合の2ケースを想定し、シーソの被りを変化させた供試体を作成し、ひびわれ発生の有無を目視で観察した供試体寸法を図-4,5に示す。

1) 蒸気養生により部材の温度が上昇する場合

プレキャスト部材を工場製作する場合には、一般に蒸気養生が行われる。蒸気養生(養生温度60℃)が

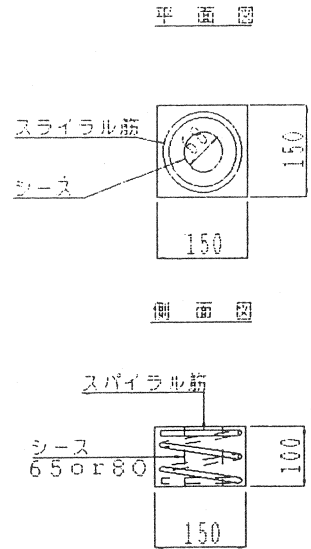


図-2 押し抜き剪断供試体

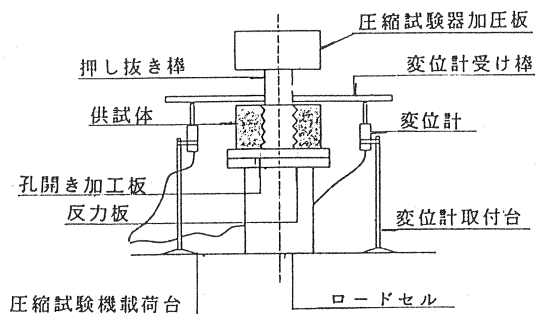


図-3 押し抜き試験装置

供試体に与える影響を調べた。さらに、同要領で同数の供試体に湿潤養生を行い比較した。

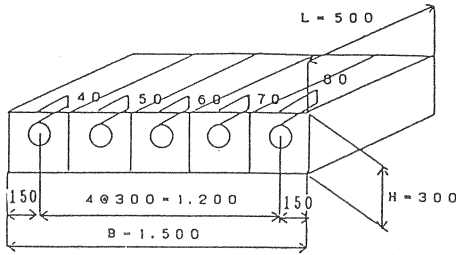


図-4 蒸気養生による縦ひび割れ試験供試体

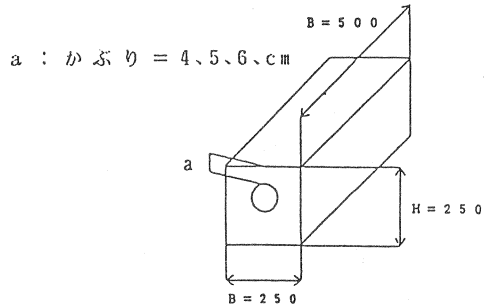


図-5 気温の変化による縦ひび割れ試験供試体

2) 気温の上昇及び降下により部材温度が変化する場合

緊張・グラウト終了後の構造物に気温の変化が生じると、FEP管にとっては外側(コンクリート)と内側(グラウト)とで拘束された状態での温度変形となる。制作した供試体のFEP管内にストランド(12T12.7)を入れ、コンクリート打設後10日目にグラウトを充填し、供試体を工場内(群馬県北橋村)の温度差の激しい場所に1年間放置し、気温の上昇・降下が供試体に与える影響を調べた。グラウトの配合を表-4に示す。

3.4 グラウト注入試験

FEP管が曲線に自由に対応できる可撓性及び施工性、グラウト注入作業性、グラウト充填状況等の確認を行った試験である。シース配置形状はφ65FEP管を図-6に示すように12T12.7テンダンの最小曲げ半径6m、曲げ上げ角度25°、30°水平距離24m、高低差1.608mで中間曲げ上げ区間を1カ所設けた。シースの支持間隔は1.2mで単管パイプで支持し、#18なまし鉄線でたすき掛けに緊結した。空隙率を実施工と合わせるためにシース内にストランドを挿入した状態でグラウト注入を行った。グラウト配合はシースの波形状を考慮して高性能グラウト混和剤を使用し、試験練りを行った結果表-4の配合を使用した。

グラウト注入は一方向から行き、グラウトが中間ホース位置を通過確認後中間ホースを閉息し、さらに注入を続け、端部排出口からグラウトが充分排出し、連行空気が出ないことを確認後、排出側ホースを閉息し、中間ホースを開放して注入を続け連行空気が出ないのを確認後中間ホースを閉息する。その後5kgf/cm²の圧力を保持して作業を終了した。

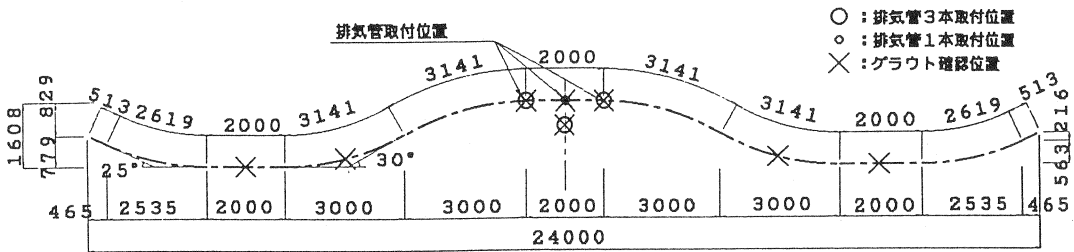


図-6 シース形状、サンプル採取位置図

3.5 グラウト充填確認

グラウト強度の確認後図-6に示す位置でサンプル採取し、切断面グラウト充填状況を目視で観察した。

4 試験結果

4.1 FEP管の品質試験

1) 等外圧に対する抵抗力試験

φ65に237.8kgf/cm²、φ80に333.3kgf/cm²の荷重を10分間保持した時点の全試料の状態はわずかに変形していたがヒビ、割れ等の異常は見られなかった。試験後の試料は除荷後時間の経過と共に復元していき、数10分後には載荷前とほとんど変わらない形状までに復元した。尚試験時の室温は24℃であった。

2) 局所的な外力に対する抵抗力試験

載荷により管内面と管内側の丸鋼が接した平均荷重はφ65で125kgf、φ80で112kgfであった。試験後の試料は除荷後時間の経過と共に復元していき、数10分後には載荷前とほとんど変わらない状態までに復元した。尚試験時の室温は24℃であった。

3) 直管継ぎ手内水圧試験(参考試験)

平均限界内水圧はφ65で5.8kgf/cm²、φ80で3.8kgf/cm²であった。グラウト注入試験は裸ケーブル状態で行うため最終加圧力5kgf/cm²に耐えるφ65を使用した。

表-5 グラウト試験結果

試験名	気温 ℃	水温 ℃	グラウト 温度 ℃	番 号	コンス テツ sec	ブーヅン率 %		膨 張 率 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
						3H	20H		σ7	σ28
押し抜き剪断試験	14.1	15.0	18.0	1	23.5	2.9	0.0	2.2	449	502
				2	25.7	3.8	0.0	2.5	445	484
				3	26.3	2.4	0.0	3.7	419	480
				AV	25.2	3.0	0.0	2.8	438	489
気温の上昇及び降下により 部材温度が変化する場合	8.3	9.2	9.5	1	26.7	0.0	0.0	3.2	284	487
				2	27.1	0.0	0.0	3.0	275	432
				3	27.3	0.0	0.0	2.8	307	447
				AV	27.0	0.0	0.0	3.0	289	455
グラウト注入試験	9.0	12.3	13.5	1	20.3	0.0	0.0	4.0	203	315
				2	20.5	0.0	0.0	2.5	201	306
				3	21.7	0.0	0.0	3.2	210	324
				AV	20.8	0.0	0.0	3.2	205	315

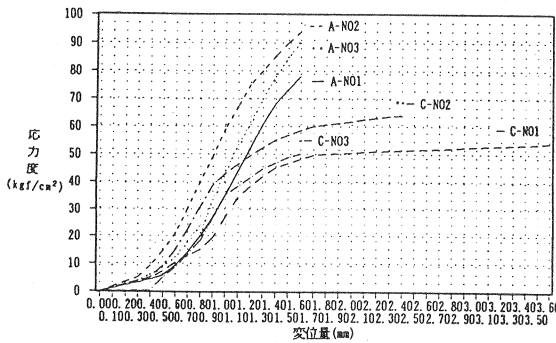


図-7 応力度-変位図(φ65, A-C)

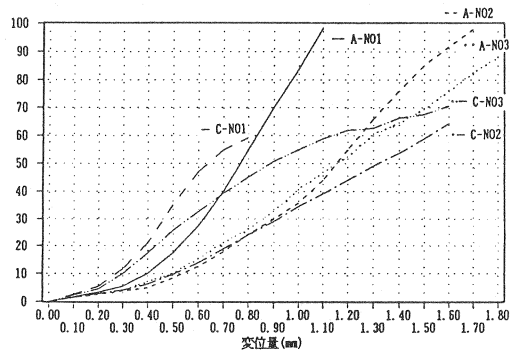


図-8 応力度-変位図(φ80, A-C)

4.2 押し抜き剪断試験

試験はグラウト養生日数31日目で行った。A社、B社製のFEP管と一般に使用されているC社の鋼製シースの押し抜き剪断耐力について比較を行った結果φ65ではA、B社それぞれの剪断応力度が鋼製シースの剪断応力度以上であることが分かり、φ65でFEP管と鋼製シースの勾配が良く合致しており、材質、この程度の部材厚の違いによる剪断耐力に与える影響は少ないと考えられる。またφ80についてもばらつきはあるものの鋼製シースの剪断応力度以上であることが分かった。鋼性シースと比較してFEP管の山と谷の差が大きく、この部分が抵抗して鋼性シース剪断耐力を上回ったものと推察する。尚φ80の剪断応力度のばらつきは載荷時、供試体に割裂によるひび割れが発生し、横方向変位が生じ、その影響が現れたためと考えら

れる。グラウトおよびコンクリートの試験結果を表-5、表-6に、図-7~図-8に代表的な(応力度-変位)曲線を示す。また全ての供試体下端のグラウトの変位は認められなかった。

4.3 シースによる縦ひび割れ試験

1) 蒸気養生により部材の温度が上昇する場合

表-7はJIS規定と3点の温度センサーの平均養生温度経緯を比較したものであり、温度下降時間は20deg/hで2h、さらに8deg/hで1.5hであった。試験の結果は蒸気、湿潤養生ともすべての供試体についてひび割れ発現はなかった。コンクリート試験結果を表-6に示す。

2) 気温により部材の温度が上昇および下降する場合

コンクリート打設後濡れムシロで覆い室内で3日間養生を行った後戸外に出し、10日目にグラウトを充填し、自然状態で放置してあり、H4.8.31現在ではひび割れの発生は見られない。表-8は直射気温の最高最低を示しているがグラウト充填前の最大温度差が18.3℃、日最大温度差が13.5℃(-2.5~11.0℃)またグラウト充填後の最大温度差が47.4℃、日最大温度差が22.5℃(-2.5~20.0℃)であった。温度差が生じた間にはかなりの時間差があり、すでにコンクリート強度も充分発現していたためにひび割れがなかったものと推察する。

グラウト、コンクリートの試験結果を表-5、表-6に示す。

表-6 コンクリート試験結果

試験名		スリーブ cm	養生方法	番号	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
					σ_n	σ_T
押し抜き剪断試験	9.0	自然	1	—	—	666
			2	—	—	692
			3	—	—	675
			AV	—	—	678
	9.0	標準	1	—	—	738
			2	—	—	724
			3	—	—	707
			AV	—	—	723
縦ひび割れ試験	10.0	蒸気	1	#437	583	671
			2	447	586	689
			3	456	586	685
			AV	447	585	682
	10.0	湿潤	1	*349	422	575
			2	345	437	585
			3	352	446	568
			AV	349	435	576

σ_n の材令は#:1日、*:4日を示す。

表-7 JIS規定蒸気養生温度比較

	単位	JIS	試験結果
前養生	h	3以上	4.5
	deg	—	22
温度上昇勾配	deg/h	15以下	15.6
最高温度	h	6	6
	deg	65以下	61
温度下降勾配	deg/h	—	20&8

表-8 最高最低外気温

	グラウト注入状況			
	注入前		注入後	
気温	月日	温度	月日	温度
最高	3.12.7	14.2	3.8.25	39.0
最低	3.12.12	-4.1	4.1.16	-8.4
日最高	3.12.11	11.0	4.2.27	16.5
日最低		-2.5		-6.0

4.4 グラウト試験結果

現場でのシース接続作業の省力化をはかる目的で入荷した直径1.5~2.0m程度のロール状のFEP管は大きな波打ち状態が残りシース配置誤差に影響した。シース保持間隔は各種12T13型工法の標準間隔の最大値1.2mでシース配置を行ったがストランドを挿入した時点で保持間隔間で最大30mmのたわみ量が生じ、さらにグラウト注入後は50mmに増加した。グラウトの配合は水セメント比、混和剤量を変化させて試験練りを重ねた結果、ほぼ満足できる品質であった。水洗いを実施したケーブルはコンプレッサーで排水を行ったがかなり

の残留水があったとみられ、グラウトが排出口で注入口と同じコンシステンシーになるまでかなりのグラウトロスが生じた。水洗いを行わないケーブルにはグラウト注入に先立ち若干の先導水を使用した。また全ケーブルのうち最終加圧力 5kgf/cm^2 、 30sec に耐えられず、中間排出管1本付き1ケーブルと3本付き1ケーブルがホース取付位置またはエンドキャップ取付位置でグラウト流失が生じた。

シース配置時の 30mm たわみ発生の原因はシース支持間隔を各種12T13テンドンシステムの標準シース保持間隔で最大値 1.2m が遠すぎたこと、ロール状で入荷したFEP管が配置時点で大きな波打ち状態であったことによるものと考えられる。さらにグラウト注入後に最大約 50mm にたわみが増加した原因は先の原因に加えてシースの固定方法の不良、水平波打ち状態の鉛直方向の変化であったこと等が考えられる。

4.5 グラウト充填確認試験

FEP管は山と谷の差が大きく山部分の充填状態に与える影響を $\phi 65$ で調査するためにグラウトの硬化後、図-6に示すシースの位置を高速カッターで切断してグラウトの充填ぐあいを確認した。5ケーブルのグラウトを行って、3ケーブルはほぼ 5kgf/cm^2 の圧力を 30sec 間保持することができたが2ケーブルはホース取付位置またはエンドキャップ位置からグラウトが流失して目的の圧力上昇ができなかった。圧力保持ができた3ケーブルの切断面はほぼ確実に充填されていた。2ケーブルはグラウト流失位置、中間排出位置、注排出口で差はあるが空隙が見られた。最終上昇圧力の加圧実施状況の差によりシース内に空隙が発生したが、グラウト流失防止策、注入時の人的要因を排除することにより空隙の発生は防止することが出来ると考える。

5 課題

FEP管は本試験範囲の結果から判断して非鉄シースとして実用化の可能性のあるものと考えられるが、不明な点も多く、今後の課題として次の項目を列記する。

1) FEP管の品質試験

PC鋼材とのすり減り抵抗、PC鋼材との摩擦係数、紫外線等太陽光線の影響による材質の劣化、アセチレンガスや電気溶接器の火花による燃焼特性、耐火性の把握

2) 押し抜き剪断試験

引き抜き剪断試験の追加とグラウト、コンクリート圧縮強度がより現場施工に近い状態の押し抜き、引き抜き剪断試験の実施

3) シースによる縦ひび割れについては

蒸気養生では前養生時間による影響、気温の変化の場合は現場施工に近い状態のコンクリート圧縮強度による試験の実施

4) グラウト注入試験

実施工ではコンクリート打設時の浮力によるシースのたわみ発生が考えられ、一般に管理されている鉛直方向シースの配置誤差を 5mm の許容範囲以内にするために、荷姿(ロールから直物へ変更)、支持間隔、支持材料、固定方法の検討とシース付属品の開発

5) その他

モデル桁の曲げ、剪断、疲労試験によるひび割れ、たわみ、破壊性状等の総合的特性の解明等を実用化までに実施しなければならない。また将来的には非鉄シースの材質、形状の検討の余地もあると考える。

6. おわりに

すでに欧米ではプラスチックシースによる施工実績が報告されており、四方を海に囲まれたわが国においても非鉄シースの実用化は急務であると考えられる。試験に当たり、ご指導いただいた建設省土木研究所橋梁研究室、化学研究室ならびにご協力いただいた関係各社に対し感謝の意を表します。