

## PC鋼棒—グラウト—シース系の付着特性に関する実験的検討

高周波熱錬(株) 正会員 ○飯干 福馬  
 高周波熱錬(株) 溝口 茂  
 大阪工業大学 正会員 教授 中塚 信

### 1. はじめに

近年コンクリート系構造の設計法では性能評価型設計法が目指されている。しかし、同設計法を確立するためには部材の耐力ばかりでなく変形能力の推定も不可欠であり、変形の推定には鋼材とコンクリートとの付着が大きく影響することが明らかにされている。

本研究は異形鉄筋とコンクリートとの単一的な付着だけが課題となる鉄筋コンクリート造と違って、付着が鋼材とグラウト、グラウトとシースおよびシースとコンクリート間で複層的に生じるプレストレストコンクリート造における付着特性を調べようとするものである。具体的にはPC鋼棒の付着応力—すべり関係や破壊モードが、グラウト強度によってどのように変化するかを実験的に調べたものである。

### 2. 試験方法

#### 2.1 試験体

図-1 に試験体の概要を、図-2 にシース形状を、図-3 に異形PC鋼棒形状を、そして表-1 にPC鋼棒の機械的性質を示す。試験体は中央に鋼製スパイラルシースを配置したコンクリートブロックにPC鋼棒を通し、グラウトを打設して作製した。グラウトはプレミックスグラウトまたは普通ポルトランドセメントを使用し、水粉体比で強度調整を行った。また、付着区間は参考文献<sup>1)</sup>に準拠して鋼棒径の4倍(128mm)とし、載荷端側と自由端側に36mmの非付着区間を設けた。なお、いずれの試験体もグラウトの養生期間は2週間とし、グラウト強度確認用の供試体(φ50×100mm)も試験体と同時に作製した。表-2 に試験体一覧を示す。

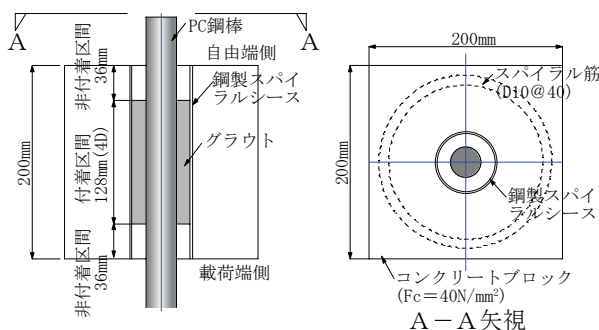


図-1 試験体の概要

呼称	内径 (mm)	外径 (mm)
#1040	40	44
#1045	45	49
#1060	60	64

図-2 シース形状

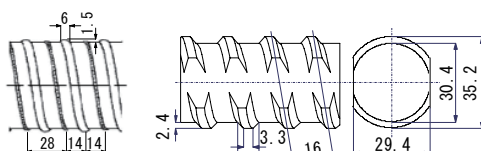


図-3 異形PC鋼棒形状

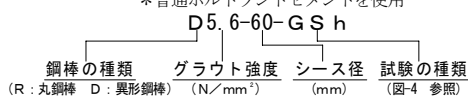
表-1 PC鋼棒の機械的性質

鋼棒の種類	呼び名 (mm)	引張強さ (N/mm²)	0.2%耐力 (N/mm²)	弾性係数 (kN/mm²)
丸PC鋼棒	32	1124	1004	200
異形PC鋼棒	D32	1135	1007	201

表-2 試験体一覧

試験体名	鋼棒	シース内径 (mm)	グラウト強度 (N/mm²)	試験方法の種類	
D4. 1-40	D32	40	4.1	従来の付着試験方法	
D4. 1-45		45			
D7. 6-40		40	7.6		
D7. 6-45		45			
D12. 6-45		60	45		12.6
D38. 5-45			45		38.5
D38. 5-60	60	51.2	強制付着破壊試験方法		
D51. 2-60	60	51.2			
D5. 6-60-GSh	D32	60		5.6	GSh
D5. 6-60-SG					SG
D13. 9-60-GSh	60	60		13.9	GSh
D13. 9-60-SG					SG
D33. 1-60-GSh	60	60		33.1	GSh
D33. 1-60-SG					SG
D48. 1-60-GSh	60	60		48.1	GSh
D48. 1-60-SG					SG
R4. 1-40	φ32	40	4.1	従来の付着試験方法	
R7. 6-40			7.6		
R12. 6-40			12.6		
R24. 9-45			24.9		
R33. 6-40			33.6*		

\*普通ポルトランドセメントを使用



#### 2.2 試験方法

図-4 に試験方法の概要を示す。本研究では、従来の付着試験方法図-4(a)と図-4(b)および(c)に示す今回新たに

考案した強制付着破壊試験方法, すなわち, 異形 PC 鋼棒を対象にして強制的に目標の付着破壊モードで付着破壊を発生させる方法で試験を行った。

目標とした付着破壊モードはグラウト-シース間での付着破壊 (以下 GSh モード) と異形 PC 鋼棒-グラウト間での付着破壊 (以下 SG モード) の 2 つである。なお, 今回はシース-コンクリート間の付着破壊モードは対象外とした。

GSh モードを強制的に生じさせる試験は自由端側の非付着区間にほぼシース内径と同じ外径寸法の特特殊ナットを装着する方法で行った。一方, SG モードを強制的に生じさせる試験は載荷板とコンクリートブロックの間に異形 PC 鋼棒が貫通できる大きさ (φ40) の孔を空けたプレートを配置し, 載荷端側の非付着区間に非付着区間と同じ長さでシース内径とほぼ同じ外径寸法の筒状のスペーサーを設ける方法で行った。

試験は単調載荷とし, 油圧式一軸万能試験機を用いて行った。計測項目は荷重と自由端側の PC 鋼棒-コンクリートブロック間の相対変位とした。なお, 相対変位は鋼棒の自由端側に取り付けた変位計により測定し, 載荷速度は参考文献<sup>1)</sup>に準拠した。

### 3. 試験結果

写真-1, 2 は強制付着破壊試験後の試験体状況の一例である。考案した強制付着破壊試験法の試験体は予定通りの破壊形式で破壊した。また, 従来の付着試験方法による試験でも GSh モードで付着破壊するものと SG モードで付着破壊するものが確認できた。ここで, 破壊モードの判定は写真-1, 2 のように最終まで引き抜いた試験体は目視で行った。一方, 最終まで引き抜かなかった試験体では載荷端側および自由端側の非付着区間の寸法を試験前後でノギスで計測しその値に変化がある場合は GSh モードとし, ない場合は SG モードとした。なお, 全ての試験でコンクリートブロックにひび割れ等は認められなかった。

表-3 は試験結果一覧である。表中の  $\tau_{max}$  は最大付着応力度 (以下, 付着強度) で破壊モードが SG モードの場合は表-3 下の (1) 式で算出し GSh モードの場合は同 (2) 式で算出した。なお, 丸 PC 鋼棒の破壊モードは全て SG モードであった。

### 4. 考察

#### 4.1 丸 PC 鋼棒の付着特性

図-5 に丸 PC 鋼棒試験体の  $\tau$ -S 関係を示す。図-6 は丸 PC 鋼棒試験体の付着強度比 ( $\tau/\tau_{max}$ )-S 関係と同関係を連続する近似直線でモデル化することを試みたグラフである。

図-5 の結果から以下のようなことがわかる。1) 丸 PC 鋼棒試験体の  $\tau$ -S 関係はすべり S が非常に小さい段階で付着強度に達した。2) 付着強度到達後は急な下り勾配を示し, S が小さい内にはほぼ一定値に収束した。

次に, 図-6 中の試験の結果によれば丸 PC 鋼棒試験体の  $\tau/\tau_{max}$ -S 関係には以下の特徴がみられた。1) ばらつきは大きい, グラウト強度に関係なくほぼ同様の性状を示す。すなわち, 2) 同関係の上昇域では S が 0.01 ~ 0.04mm と非常に小さい丸 PC 鋼棒が殆ど抜け出さない状態で付着強度に達する。3) 同関係の応力下降域では下降

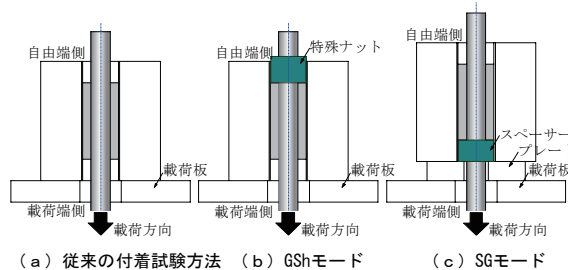


図-4 試験方法の概要



写真-1 GShモード強制付着破壊試験後



写真-2 SGモード強制付着破壊試験後

表-3 試験結果一覧

試験体名	最大荷重 (kN)	鋼棒	$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	破壊モード	付着区間 (mm)	
D4. 1-40	14. 1	D32	1. 08	SG	128. 9	
D4. 1-45	13. 5		0. 74	GSh	128. 2	
D7. 6-40	26. 4		1. 63	GSh	129. 7	
D7. 6-45	27. 3		1. 50	GSh	129. 0	
D12. 6-45	58. 0		4. 46	SG	129. 2	
D38. 5-45	116. 1		6. 38	GSh	128. 7	
D38. 5-60	119. 1		4. 84	GSh	130. 5	
D51. 2-60	108. 7		5. 05	GSh	114. 2	
D5. 6-60-GSh	43. 9		1. 82	GSh	128. 0	
D5. 6-60-SG	28. 9		2. 23	SG	128. 6	
D13. 9-60-GSh	104. 6	D32	4. 35	GSh	127. 7	
D13. 9-60-SG	69. 1		5. 28	SG	130. 2	
D33. 1-60-GSh	159. 8		6. 60	GSh	128. 4	
D33. 1-60-SG	133. 8		10. 3	SG	129. 0	
D48. 1-60-GSh	201. 6		6. 90	GSh	155. 0	
D48. 1-60-SG	234. 8		14. 7	SG	158. 5	
R4. 1-40	5. 28		φ 32	0. 41	SG	128. 8
R7. 6-40	6. 80			0. 52	SG	128. 7
R12. 6-40	11. 9			0. 93	SG	127. 7
R24. 9-45	12. 7			0. 90	SG	140. 1
R33. 6-40	17. 3	1. 33		SG	129. 1	

$$\tau = \frac{P}{l \times \pi \times D_s} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{P}{l \times \pi \times D_{sh}} \quad (2)$$

$P$  : 荷重  
 $l$  : 付着区間  
 $D_{sh}$  : シース内径  
 $D_s$  : 鋼棒の呼び径

勾配が異なる三種に変化した。すなわち、付着強度以降から  $S$  が  $0.3 \sim 0.5\text{mm}$  まででは最も急な勾配がみられ、それに続く  $S$  が  $3\text{mm}$  程度までの領域では少し緩やかな勾配が、そして、 $S$  が  $3\text{mm}$  程度を超える領域ではほとんど零の勾配が示された。これらの現象は、最大荷重に達するまでは丸PC鋼棒とグラウト間に接着的な抵抗機構が作用していたが、最大荷重を迎えると同時に丸PC鋼棒とグラウト間の摩擦抵抗機構へと移行したことによると推測される。

以上の考察に基づき、図-6中に丸PC鋼棒の平均的な  $\tau / \tau_{\max} - S$  関係を各領域で以下に示す一次式でモデル化することを試みた結果も併記した。すなわち、1) 付着強度点まで ( $S$  が  $0 \sim 0.02\text{mm}$ ) は(3)式で表す。2) 応力下降領域は  $S$  が  $0.02 \sim 0.38\text{mm}$  までは(4)式で、3)  $S$  が  $0.38 \sim 3\text{mm}$  までは(5)式で、そして、4)  $S$  が  $3 \sim 10\text{mm}$  までは(6)式で表すものとした。但し、すべり  $S$  にかかる係数の単位は  $(1/\text{mm})$  とする。

•  $0 < S \leq 0.02\text{mm}$  の場合

$$\frac{\tau}{\tau_{\max}} = 50 \times S \quad (3)$$

•  $0.02 < S \leq 0.38\text{mm}$  の場合

$$\frac{\tau}{\tau_{\max}} = -1.44 \times S + 1.03 \quad (4)$$

•  $0.38 < S \leq 3\text{mm}$  の場合

$$\frac{\tau}{\tau_{\max}} = -0.07 \times S + 0.51 \quad (5)$$

•  $3 < S \leq 10\text{mm}$  の場合

$$\frac{\tau}{\tau_{\max}} = -0.01 \times S + 0.34 \quad (6)$$

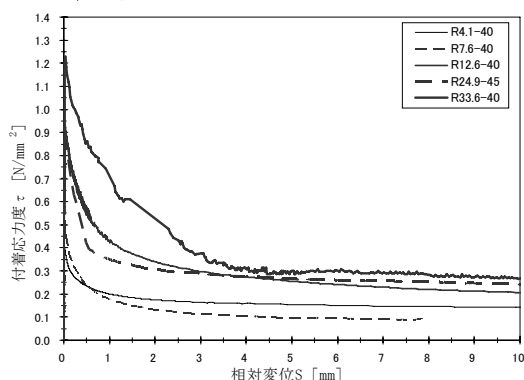


図-5 丸PC鋼棒試験体の  $\tau - S$  関係

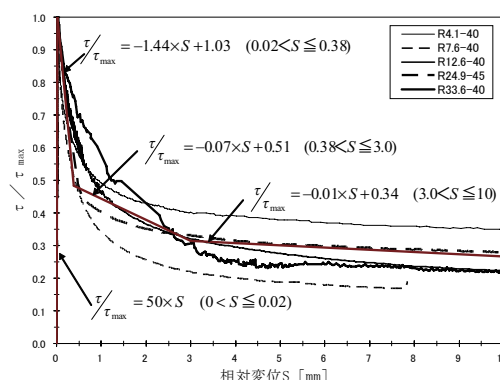


図-6 丸PC鋼棒試験体の  $\tau / \tau_{\max} - S$  関係

## 4.2 異形PC鋼棒の付着特性

図-7および図-8はそれぞれGShモードおよびSGモードとなった異形PC鋼棒試験体の  $\tau - S$  関係を示したものである。図-9および図-10は図-7と図-8の縦軸を  $\tau_{\max}$  で無次元化した付着強度比 ( $\tau / \tau_{\max}$ ) -  $S$  関係と同関係を連続する近似直線でモデル化することを試みたグラフである。

$\tau - S$  関係の結果を示した図-7, 8では以下のような傾向が見られた。1) GShモードとSGモードそれぞれの  $\tau - S$  関係はその上昇域においてその勾配が途中で変化した後に付着強度に達した。2) GShモードとSGモードいずれの付着強度もグラウト強度が大なるほど大きい。なお、SGモードの付着強度はGShモードの場合より顕著にグラウト強度の影響が見られた。3) GShモードとSGモードいずれの付着強度後も下り勾配は丸PC鋼棒に比べて緩やかで、GShモードがその途中でほぼ横ばい状態を示すケースもあった。一方、SGモードは  $S$  が  $10\text{mm}$  まで付着応力が徐々に低下した。

次に、 $\tau / \tau_{\max} - S$  関係の結果を示した図-9, 10によれば、SGモードとGShモードそれぞれの  $\tau / \tau_{\max} - S$  関係はばらつきがあるもののグラウト強度に関係なくほぼ同様の傾向を示すものであった。すなわち、1) GShモードおよびSGモードのいずれの  $\tau / \tau_{\max} - S$  関係も上昇域において剛性の変化点がみられた。GShモードではその変化点時の  $\tau / \tau_{\max}$  が  $0.6$  程度で  $S$  は  $0.1 \sim 0.4\text{mm}$  であった。一方、SGモードでは  $\tau / \tau_{\max}$  が  $0.7$  程度で  $S$  は  $0.1 \sim 0.3\text{mm}$  であった。2) 付着強度時の  $S$  はGShモードで  $1 \sim 3\text{mm}$ 、SGモードで  $0.5 \sim 2\text{mm}$  とGShモードの方が大きい値を示した。3) 付着強度後の下降域ではGShモードは  $S$  が  $6\text{mm}$  程度まで単調に応力が減少するが、その後は  $\tau / \tau_{\max}$  が  $0.5 \sim 0.8$  程度のほぼ横ばいの状態であった。これに対しSGモードでは  $S$  が  $10\text{mm}$  で  $0.3 \sim 0.6$  の  $\tau / \tau_{\max}$  になるまで単調に応力が減少した。

以上のことから各モードの付着機構について以下のようなことが推測される。1) 最大荷重に達するまでの  $\tau - S$

関係には GSh モードの場合はシーズ溝幅内のグラウトのせん断変形が, SG モードの場合は異形 PC 鋼棒節間のグラウトのせん断変形がそれぞれ大きく影響していると推測される。よって, それぞれのせん断剛性の違いが両者の最大荷重時の相対変位の差として表れていると推測されるが詳細は今後の検討事項である。2)  $\tau$ - $S$  関係の上昇域において勾配が変化する理由としては GSh モードの場合は荷端側近傍のシーズ溝幅のグラウトのせん断破壊が, SG モードの場合は荷端側近傍の異形 PC 鋼棒節間のグラウトのせん断破壊が発生し, 鋼棒のすべりが起きるからであると推測されるが詳細は今後の検討事項である。3) 最大荷重後の  $\tau$ - $S$  関係は GSh モードの場合は主にシーズ内部表面とグラウトとの摩擦抵抗機構に, SG モードの場合は主に異形 PC 鋼棒溝の中に残ったグラウトと周囲のグラウトとの摩擦抵抗機構に依存すると推測される。よって, 最大荷重後の下降勾配の違いは両者の摩擦機構の性状の違いに起因すると推測されるが詳細は今後の検討事項である。

図-9, 10 では各モードにおける平均的な  $\tau/\tau_{max}$ - $S$  関係を以下に示すような連続する数本の一次式で近似してモデル化することを試みた結果も併記した。すなわち, GSh モードの場合は 1) 応力上昇領域で剛性が変化するまで ( $S$  が  $0 \sim 0.24$ mm) は(7)式で表し, 2) 剛性変化点から付着強度点まで ( $S=0.24 \sim 1.97$ mm) は(8)式で表す。そして, 3) 応力下降領域は  $S$  が  $1.97 \sim 6.5$ mm 範囲を(9)式で表し, 4) 応力比がほぼ一定となる  $S$  が  $6.5 \sim 10$ mm 区間は(10)式で表すモデルを考案した。一方, SG モードの場合の平均的  $\tau/\tau_{max}$ - $S$  関係モデルは 1) 応力上昇領域における剛性変化点まで ( $S$  が  $0 \sim 0.25$ mm) は(11)式で表し, 2) 付着強度点まで ( $S$  が  $0.25 \sim 1.3$ mm) は(12)式で表す。そして, 3) 付着強度以降の単調応力下降領域の区間 ( $S$  が  $1.3 \sim 10$ mm) は(13)式で表すものとした。

- $0 < S \leq 0.24$ mm の場合  $\tau/\tau_{max} = 2.53 \times S$  (7)
- $0.24 < S \leq 1.97$ mm の場合  $\tau/\tau_{max} = 0.23 \times S + 0.55$  (8)
- $1.97 < S \leq 6.5$ mm の場合  $\tau/\tau_{max} = -0.05 \times S + 1.10$  (9)
- $6.5 < S$  の場合  $\tau/\tau_{max} = 0.77$  (10)
- $0 < S \leq 0.25$ mm の場合  $\tau/\tau_{max} = 2.81 \times S$  (11)
- $0.25 < S \leq 1.3$ mm の場合  $\tau/\tau_{max} = 0.28 \times S + 0.63$  (12)
- $1.3 < S \leq 10$ mm の場合  $\tau/\tau_{max} = -0.06 \times S + 1.07$  (13)

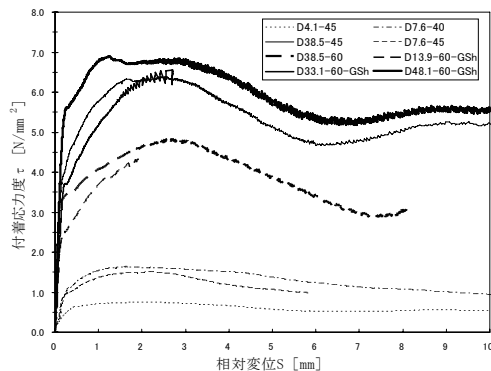


図-7 异形PC鋼棒試験体 GSh モードの  $\tau$ - $S$  関係

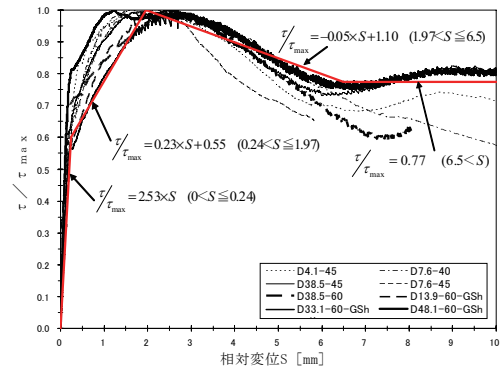


図-9 异形PC鋼棒試験体 GSh モードの  $\tau/\tau_{max}$ - $S$  関係

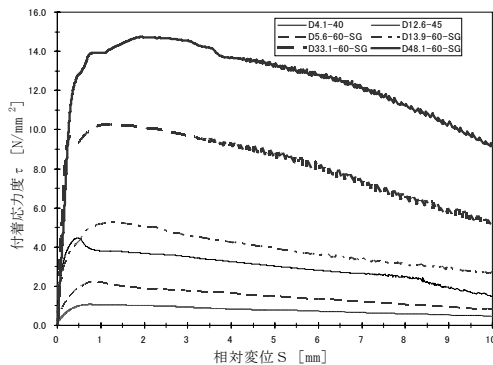


図-8 异形PC鋼棒試験体 SG モードの  $\tau$ - $S$  関係

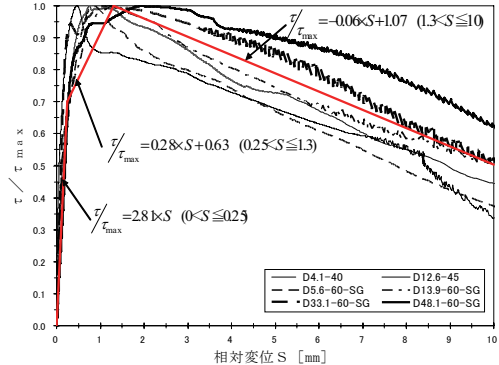


図-10 异形PC鋼棒試験体 SG モードの  $\tau/\tau_{max}$ - $S$  関係



### 4.3 グラウト強度-付着強度関係

図-11 は各試験体の付着強度とグラウト強度の関係を示したものである。なお、同図中の試験データには田坂らの、本試験と同様の試験体を用いて行った付着試験結果<sup>2)</sup>も含まれている。同図中中塗りの記号は強制付着破壊試験方法による結果を示し、その他の記号は従来の付着試験方法による結果を示す。

同図によれば、丸 PC 鋼棒の付着強度はグラウト強度に依存するが、異形 PC 鋼棒に比べてその依存度が低い傾向が見られた。これは、ミクロ的には鋼棒とグラウトの界面でグラウトのせん断破壊が生じておりグラウトの強度に依存するものの、異形 PC 鋼棒と比較してグラウトのせん断破壊が寄与する度合いが低いことに起因すると考えられる。丸 PC 鋼棒の付着強度とグラウト強度の関係数式として(14)式を得た。一方、異形 PC 鋼棒の付着強度はグラウト強度に顕著に依存し、グラウト強度の増加に対する付着強度増加は異形 PC 鋼棒-グラウト間での付着破壊の SG モードの方が、グラウト-シース間での付着破壊の GSh モードでのそれよりも大きいことが分かった。これは、SG モードでは異形 PC 鋼棒の溝内のグラウトがせん断破壊されるのに対し GSh モードでは異形 PC 鋼棒の溝幅よりも小さいシース溝内のグラウトがせん断破壊されることに起因すると考えられる。異形 PC 鋼棒の GSh モードおよび SG モードの付着強度-グラウト強度関係に対する近似式としてそれぞれ(15)および(16)式を得た。また、図-11 中に(14)、(15)、(16)式を示しているが、これらの式によって各破壊モードの付着強度の上限がほぼ推定されていることがわかる。

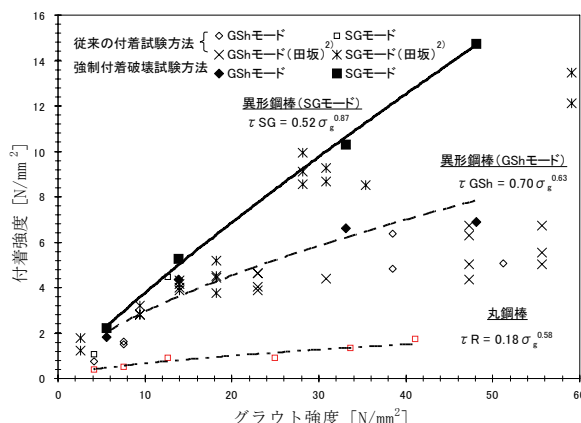


図-11 グラウト強度-付着強度関係

- 丸 PC 鋼棒  
 $\tau_R = 0.18\sigma_g^{0.58}$  (14)
- 異形 PC 鋼棒 GSh モード  
 $\tau_{GSh} = 0.70\sigma_g^{0.63}$  (15)

- 異形 PC 鋼棒 SG モード  
 $\tau_{SG} = 0.52\sigma_g^{0.87}$  (16)

次に、SG および GSh などの付着破壊モードにはグラウト強度、鋼棒表面およびシース内面での付着強度ならびに鋼棒径とシース内径などが関係すると推測される。それ故、各付着破壊モードがどのような条件下で起こるかを容易に知るために SG モードと GSh モードの発生限界に及ぼすグラウト強度、シース内径/鋼棒呼び径比(α)の影響を以下のように検討した。

GSh モードと SG モードの最大荷重 ( $P_{GSh}$ ,  $P_{SG}$ ) は(17)および(18)式で与えられる。

$$P_{GSh} = \alpha \times D_s \times \pi \times \tau_{GSh} \times l \quad (17)$$

$$P_{SG} = D_s \times \pi \times \tau_{SG} \times l \quad (18)$$

$D_{Sh}$ : シース内径	$D_s$ : 異形 PC 鋼棒の呼び径
$\alpha = D_{Sh}/D_s$	$\tau_{GSh}$ : (15) 式
$\tau_{SG}$ : (16) 式	$l$ : 付着長さ

一方、 $P_{SG}/P_{GSh} > 1.0$  の場合は GSh モードとなり  $P_{SG}/P_{GSh} < 1.0$  の場合は SG モードとなるので、両モードの境界はそれらの式に(15)、(16)、(17)および(18)式を代入し整理した(19)式で与えられる。従って、GSh モードおよび SG モードは(20)および(21)式の条件下で生じることになる。

$$\frac{P_{SG}}{P_{GSh}} = \frac{1}{\alpha} \times \frac{0.52}{0.70} \times \sigma_g^{0.24} \quad (19)$$

$$\text{GSh モード} : \alpha < \frac{0.52}{0.70} \times \sigma_g^{0.24} \quad (20)$$

$$\text{SG モード} : \alpha > \frac{0.52}{0.70} \times \sigma_g^{0.24} \quad (21)$$

図-12, 13 は縦軸にシース内径/異形 PC 鋼棒の呼び径の比(α)をとり横軸にグラウト強度をとって、予め破壊モードを意図して行った強制付着破壊試験を除く試験体のデータをプロットしたものである。GSh モードの試験体を示した図-12 および SG モードの結果を示した図-13 のいずれにおいても、図中に併記したモード境界線はグラウト

強度と  $\alpha$  とで遷移する SG と GSh の破壊モードをほぼ推定できており (20) および (21) 式で破壊モードの判定が可能となることがわかった。

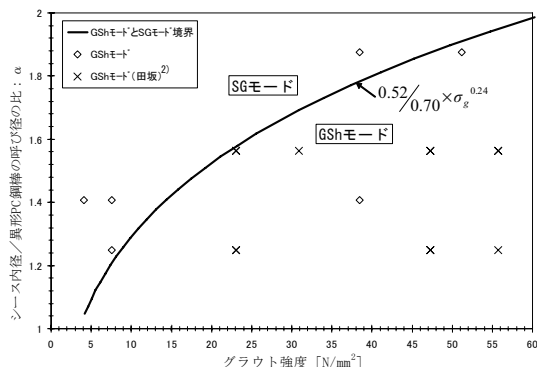


図-12 GSh モード試験結果との比較

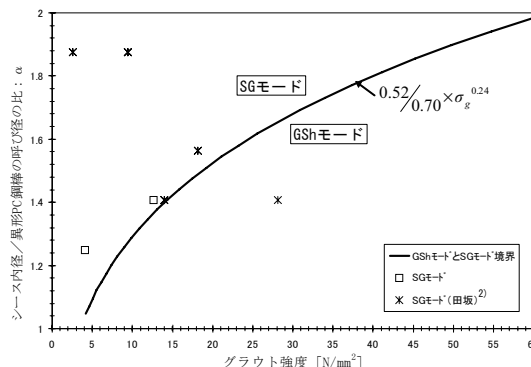


図-13 SG モード試験結果との比較

### 5. 結語

- (1) 丸 PC 鋼棒の丸 PC 鋼棒—グラウト—シース系の付着破壊モードは、殆どの場合丸 PC 鋼棒—グラウト間で付着破壊が起こる。その時の付着応力度 ( $\tau$ )—すべり (S) 関係は、殆ど丸 PC 鋼棒が抜け出さない状態で付着強度に達し、その後は応力低下を起ししながらほぼ一定応力状態となる。このような付着特性を示す丸 PC 鋼棒の付着強度は  $\tau_R = 0.18\sigma_g^{0.58}$  で推定できる。
- (2) 異形 PC 鋼棒の異形 PC 鋼棒—グラウト—シース系の付着破壊モードには、異形 PC 鋼棒—グラウト間で付着破壊するものとグラウト—シース間で付着破壊するものがある。異形 PC 鋼棒—グラウト間で付着破壊するものの付着応力度 ( $\tau$ )—すべり (S) 関係は異形 PC 鋼棒の抜け出し量が 0.5~2mm で付着強度に達し、その後はすべり (S) の増加に対し付着応力度が単調に低下する。一方、グラウト—シース間で付着破壊するものは異形 PC 鋼棒の抜け出し量が 1~3mm で付着強度に達し、その後は応力低下を起しながら抜け出し量が 6mm 程度から 10mm までにはほぼ一定応力状態となる。このような付着特性を示す異形 PC 鋼棒の付着強度は異形 PC 鋼棒—グラウト間で付着破壊する時の付着強度が  $\tau_{SG} = 0.52\sigma_g^{0.87}$  で推定できる。一方、グラウト—シース間で付着破壊する時の付着強度は  $\tau_{GSh} = 0.70\sigma_g^{0.63}$  で推定できる。
- (3) 異形 PC 鋼棒の付着破壊モードは、グラウト強度—シース内径/異形 PC 鋼棒の呼び径の比 ( $\alpha$ ) により推定が可能である。その判定式は異形 PC 鋼棒—グラウト間で付着破壊するものが  $\alpha > 0.52/0.70 \times \sigma_g^{0.24}$  となり、異形 PC 鋼棒のグラウト—シース間で付着破壊するものは  $\alpha < 0.52/0.70 \times \sigma_g^{0.24}$  となる。
- (4) 付着強度比 ( $\tau/\tau_{max}$ )—すべり S 関係は、丸 PC 鋼棒および異形 PC 鋼棒のグラウト—シース間での付着破壊と異形 PC 鋼棒—グラウト間での付着破壊のいずれの場合でも、それぞれのケースでグラウト強度にかかわらずほぼ同様の ( $\tau/\tau_{max}$ )—S 関係を示したので同関係に対する推定式を誘導した。

### 《謝辞》

本研究は PC 付着研究会（構成者：大阪工業大学・中塚侑，オリエンタル白石，建研，高周波熱錬，神鋼鋼線工業，住友電工スチールワイヤー，ピーエス三菱）の援助を受けて行いました。また、試験を行うにあたり住友電工スチールワイヤー（株）市来隆志様には強制付着破壊試験方法に関して様々な助言を，ならびに（株）マックスリアルティアドバイザー 大江健介様には試験の実施ならびに結果の解析に関して様々な助力を頂きました。さらに、（株）ピーエス三菱 寒川勝彦様にはコンクリートブロックの，電気化学工業（株）芦田公伸様にはグラウト材の提供を受けました。ここに感謝の意を表します。

### 《参考文献》

- 1) 土木学会コンクリート委員会，「コンクリート標準示方書〔標準編〕」， pp. 435-438， 2000.
- 2) 巽英明， 田坂誠一， 寒川勝彦， 中塚侑， 「異形鋼棒とグラウトとの付着特性に関する実験的研究」， コンクリート工学年次論文集Vol125， pp. 877-882， 2003.