

論文 プレート用モルタル充填式継手の引抜き耐力に関する検討

古田 智基^{*1}・中村 秀司^{*2}・阿瀬 正明^{*3}

要旨：近年RC構造において、在来工法をPCa化する工法、例えばR-PC工法等の開発が盛んで、主筋の接合にPCa部材に埋設されたモルタル充填式継手を使用している。プレートコンクリート（PLRC）構法においても、将来的に工事現場における生産性を大幅に向上させるためにプレートの接合方法として、プレート用モルタル充填式継手を提案した。

本研究ではプレートがモルタル充填式継手により接合可能か否かパイロット試験を行い、その可能性について検討を行った。その実験的検討結果から、耐力、破壊性状等が「機械式鉄筋継手性能判定基準（1982年）」[1]に定めるA級継手に対する判定結果を満足するスリーブ、プレート形状およびプレートの埋込み長さを確認した。

キーワード：PLRC構法、モルタル充填式継手、プレート、引抜き耐力

1. はじめに

PLRC構法の開発研究は、従来のRC構造部材における主筋にかえて鋼製プレートを用いることにより、「建設の省力化」、「建築物の高耐久化」を可能にする新しい構法として、現在までに各構造部材実験を行い、中層（7層程度）建物までの建設が可能となっている。

本研究では、PLRC構法における柱部材間の接合を対象として、①継手の適切なスリーブ形状、②継手部分の効果的なプレート形状、③継手部分のプレートの必要埋込み長さ等を明らかにすることを目的に、プレート用モルタル充填式継手の引張試験を行った。

2. 試験体および使用材料

2. 1 試験体

試験体の計画および試験体一覧を表-1～3に示す。また、図-1（a）、（b）および図-2（a）～（c）にスリーブ、プレートの概要を示す。試験体のパラメータとして、継手形状、プレート形状、プレート埋込み長さの3種類をとり、異なる6タイプの試験体を各3体ずつ計18体製作した。以下に試験体のパラメータの概要を示す。スリーブの形状は、スリーブ中央につながるを有しているものをA1、無いものをA2とした2種類である（図-1）。プレート形状は、プレートの先端にT字となるようにプレートを溶接したものをB1、プレートに多数の突起を付けたものをB2、プレートに孔をあけボルトを付けたものをB3とした3種類である（図-2）。埋込み長さは、5cmのものをC1、7.5cmのものをC2、10cmのものをC3とした3種類である。図-3および写真-1に、No.1およびNo.2試験体の概要をそれぞれ示す。スリーブおよびプレートの芯が通るように配慮した型枠を使用し、ポストグラウト工法により製作し室内養生した。また、スリーブおよびプレートの歪状況が確認できるように、スリーブに関してはスリーブの中央部に、プレートに関してはスリーブ面から10mmの位置に歪ゲージを貼付した。以上の18体の試験体を対象に、

A級継手[1]を目標とした一方向引張試験を行い、試験体の性能を判定する。

*1 矢作建設工業(株)建築技術部技術開発室係長 工修 (正会員)
*2 新日本製鐵(株)建築設計部建築設計室部長代理 工修 (正会員)
*3 日本スプライススリーブ(株)エンジニアリング部次長 (正会員)

表-1 試験体計画

要因	計画内容	
充填材料	グラウト材:SSモルタル (1種類)	
プレート	材質	SM490 (t=4.5mm, t=4.5mm) (1種類)
	形状	板付プレート、多数突起付プレート、ボルト付プレート (図-2参照) (3種類)
スリーブ	材質	FCD600 相当 (1種類)
	形状	中央つなぎ有・無 (図-1参照) (2種類)
プレート埋込み長さ	5cm, 7.5cm, 10cm (3種類)	
試験方法	一方向引張試験 (1種類)	
測定項目	スリーブ・プレートの歪、性能判定基準に定める各項目	

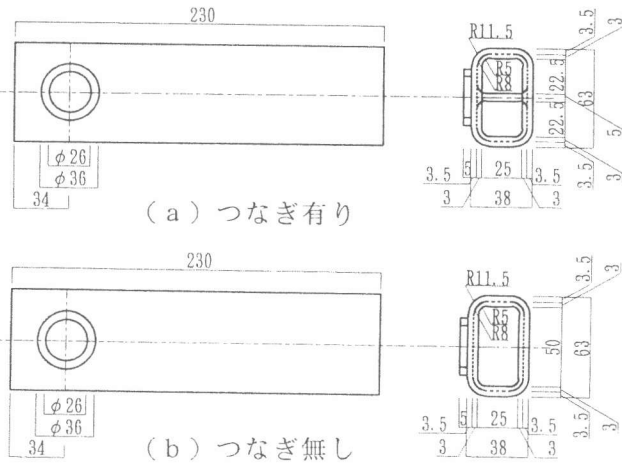


図-1 スリーブ形状図

表-2 試験体の因子と水準

因子	記号	第1水準	第2水準	第3水準
スリーブ形状	A	つなぎ有り (A1)	つなぎ無し (A2)	—
プレート形状	B	板付プレート (B1)	突起付プレート (B2)	ボルト付プレート (B3)
埋込み長さ	C	5cm (C1)	7.5cm (C2)	10cm (C3)

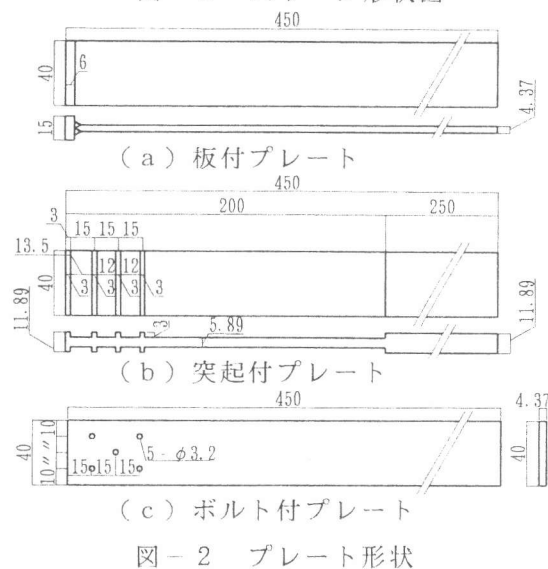


図-2 プレート形状

表-3 試験体一覧

スリーブ形状	プレート形状	埋込み長さ (cm)		
		5	7.5	10
つなぎ有 A1	B1	○No.1	—	—
	B2	—	○No.2	—
	B3	—	—	○No.3
つなぎ無 A2	B1	—	○No.4	—
	B2	—	—	○No.5
	B3	○No.6	—	—

No.1. 1~1.3=A1-B1-C1, No.2. 1~2.3=A1-B2-C2
 No.3. 1~3.3=A1-B3-C3, No.4. 1~4.3=A2-B1-C2
 No.5. 1~5.3=A2-B2-C3, No.6. 1~6.3=A2-B3-C1
 スリーブ形状: 中央つなぎ有 (A1), 無 (A2)
 プレート形状: 板付プレート (B1), 多数突起付プレート (B2),
 ボルト付プレート (B3)
 埋込み長さ: 5cm (C1), 7.5cm (C2), 10cm (C3)

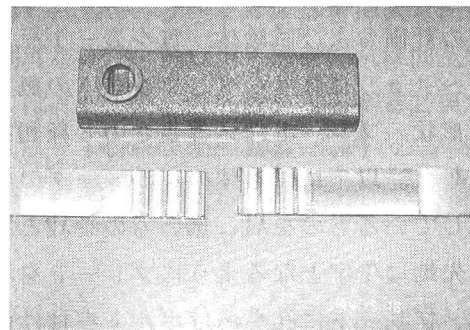


写真-1 No.2 試験体

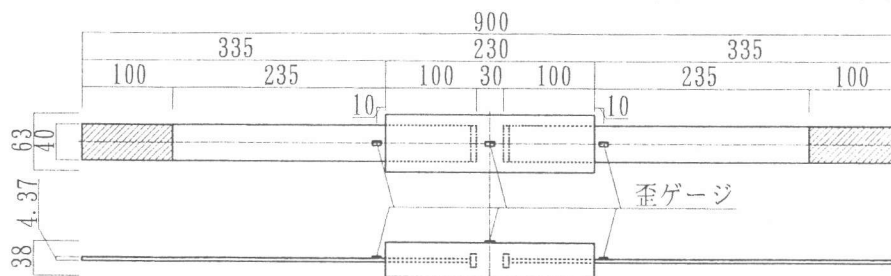


図-3 No.1 試験体の概要

2. 2 使用材料の性質

表-4 にスリーブ内に注入するグラウト材 (SSモルタル) の圧縮強度試験結果を、表-5 にプレートとの引張試験結果を、表-6 にスリーブ材の引張試験結果を示す。

表-4 グラウトの圧縮強度

打設日	試験日	圧縮強度(kgf/cm ²)
'95 5/18	'95 6/28	1106
		1070
		1055
		(平均 1077)

表-5 プレートの引張強度

試験体 No.	試験片		降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
	t	W(d)			
PL 4.5t-1 PL 4.5t-2 PL 4.5t-3	4.37	25.08	39.9	53.5	30.6
	4.37	25.06	40.7	54.2	31.4
	4.37	25.08	39.6	53.4	31.9
平均	—	—	(40.1)	(53.7)	(31.3)
PL12.0t-1 PL12.0t-2 PL12.0t-3	11.93	25.06	45.2	59.4	35.3
	11.89	25.03	45.8	59.6	34.9
	11.89	25.03	45.8	59.9	33.7
平均	—	—	(45.6)	(59.7)	(34.7)

表-6 スリーブの引張強度

	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
規格	42.0 以上	60.0 以上	6.0 以上
試験片	45.3	73.0	7.8

3. 実験方法

図-4 に示すとおり、引張試験室において島津AG25TB型試験機を使用して載荷を行った。変位計測は、特定検長間に取り付けた2個の差動トランスによって測定した値をコンピュータに取り込んだ。測定項目は、① $0.7\sigma_{yo}$ E. ② $0.95\sigma_{yo}$ E. ③ $i_c\delta_s$. ④ σ_b である。ここで、 σ_{yo} は母材の規格降伏点 (または耐力)、 $0.7\sigma_{yo}$ E. $0.95\sigma_{yo}$ Eはそれぞれの応力における接合プレート継手の割線剛性、 $i_c\delta_s$ は $0.95\sigma_{yo}$ 加力終了時における残留変位量、 σ_b は接合プレートの引張強度である。

加力方法は一方向引張試験とし、 $P=0.95\sigma_{yo}$ (=5.94t) まで加力後いったん除荷し、その後試験体の破壊性状が確認できるまで加力した。また、 $P=0.95\sigma_{yo}$ 除荷時の残留変位量 ($i_c\delta_s$) をプレートの滑り量とした。変位量の測定は、変位測定装置の制限により、特定検長(400mm)の伸びが25mm(6.25%)を超えたところで除荷し、変位計を取り外した後破壊にいたるまで加力した。したがって、最大変位量は25mmまでしか測定されていない。なお、A級継手の判定基準[1]を表-7に示す。

4. 実験結果および考察

4. 1 破壊形式と最大耐力

図-5 (a) ~ (f) に各試験体の荷重と変位量の関係 (P- δ 曲線) を、図-6 (a) ~ (f) にプレートとスリーブ材の荷重と歪の関係 (P- ϵ 曲線) を示す。

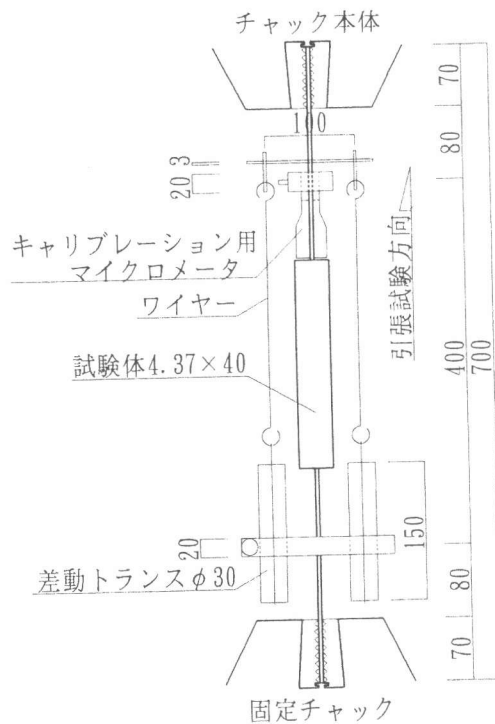


図-4 加力および測定装置

表-7 A級継手の判定基準[1]

強度	$\sigma_b \geq 1.35\sigma_{yo}$ or σ_{bo}
剛性	$0.7\sigma_{yo} E \geq 0.9E_0$ $0.95\sigma_{yo} E \geq 0.7E_0$
靱性	$\epsilon_u \geq 10\epsilon_v, 0.02$
すべり量	$i_c\delta_s \leq 0.3mm$

σ_{bo} : 母材の規格強度
E: 母材の規格降伏点のそれぞれの応力における接合プレートの割線剛性
 E_0 : 母材の規格降伏点の70%の応力における母材の割線剛性

各図には、各試験体における降伏耐力 ($P_y = \sigma_y$: プレートの降伏耐力) を示す。

破壊形式がプレート母材の破断であったものは、No.1, 2, 4, 5シリーズの計12体で、いずれの試験体も変位計を取り外した後に最大耐力に達しており、9.3t以上を記録している。プレートが破断した時のスリーブ中央部の歪度(最大歪)は、いずれも約 800×10^{-6} であった。また、破壊形式がプレートの抜け出しとなった試験体は、No.3, 6シリーズの計6体で、変位量(δ)が2.5mm近傍で最大耐力に達した。この時のプレートおよびスリーブの最大歪度は、プレートが $500 \sim 700 \times 10^{-6}$ で、スリーブは $150 \sim 200 \times 10^{-6}$ 程度と引張応力は非常に小さかった。したがって、プレートが破断したNo.1, 2, 4, 5シリーズの試験体における引張(加力)方向に対するスリーブの耐力は、十分余裕のあることを確認した。また、滑り量に関しては、プレートが破断した試験体においては、いずれの試験体も表-7に示したA級継手判定基準値[1]の0.3mmを下回っている。その中においても埋込み長さが10cmと最も長く、プレートに多数突起を付けたNo.5試験体の抜け出し量が0.08mmと最も少なかった。

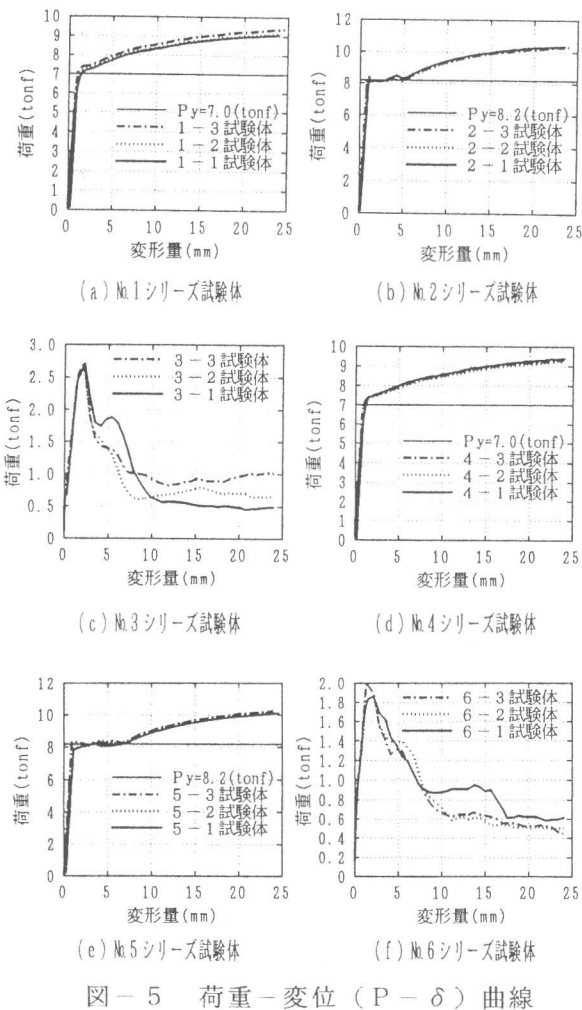


図-5 荷重-変位 ($P-\delta$) 曲線

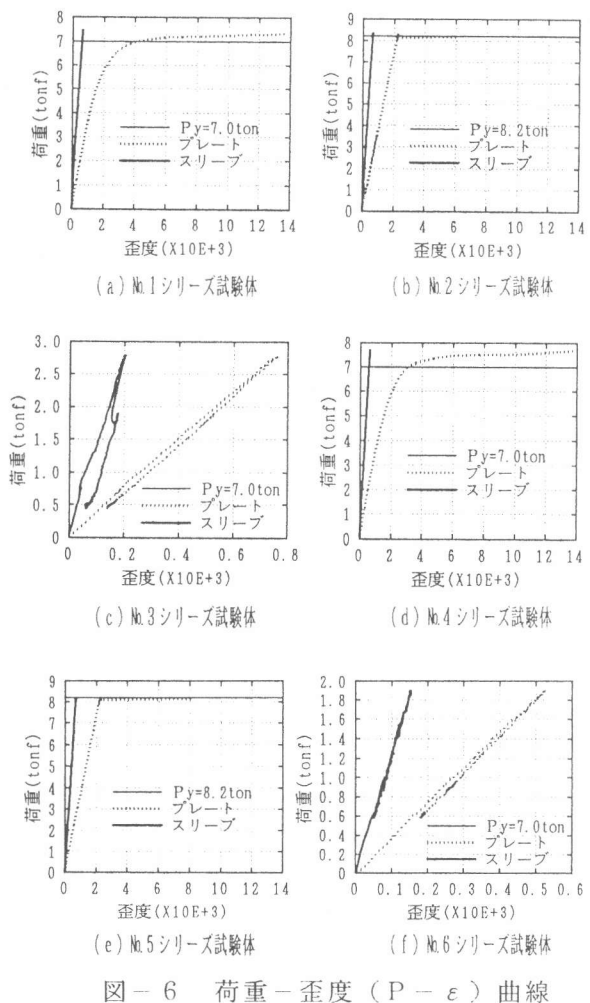


図-6 荷重-歪度 ($P-\epsilon$) 曲線

4. 2 判定結果

表-8に、各試験体の実験結果および各測定項目のA級継手[1]に対する判定結果を示す。A級継手の判定基準を全て満足する試験体は、No.1, 2, 4, 5シリーズの計12体であった。したがって、埋込み長さやスリーブ補強(つなぎ)の効果よりもプレート形状の影響が大きいようである。

表-8 実験結果一覧

試験体No.	試験体のパラメータ	最大荷重 (kgf)	引張強さ (kg/mm ²)	$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{yo}}$	剛性 ($\times 10^6$ kgf/cm ²)		すべり量 (mm)	破壊性状	総合判定
					$0.7 \sigma_{yo} E$	$0.95 \sigma_{yo} E$			
1-1	・スリーブつなぎ有り	9310.6	53.2	1.61 ○	1.80 ○	1.63 ○	0.28 ○	プレート破断	○
1-2	・プレートT字	9457.7	54.1	1.64 ○	1.91 ○	1.91 ○	—	プレート破断	
1-3	・埋込み5cm	9744.1	55.7	1.69 ○	2.03 ○	1.95 ○	—	プレート破断	
(平均)		9501.1	54.3	1.65 ○	1.91 ○	1.83 ○	—		
2-1	・スリーブつなぎ有り	10436.6	58.0	1.76 ○	1.76 ○	1.80 ○	0.18 ○	プレート破断	○
2-2	・プレート突起	10467.2	58.2	1.76 ○	1.99 ○	2.05 ○	—	プレート破断	
2-3	・埋込み7.5cm	10529.5	58.5	1.77 ○	2.23 ○	2.24 ○	—	プレート破断	
(平均)		10477.8	58.2	1.76 ○	1.99 ○	2.03 ○	—		
3-1	・スリーブつなぎ有り	2773.1	15.9	0.48 ×	— ×	— ×	— ×	プレート抜け出し	×
3-2	・ボルト付プレート	2732.1	15.6	0.47 ×	— ×	— ×	—	プレート抜け出し	
3-3	・埋込み10cm	2752.6	15.7	0.48 ×	— ×	— ×	—	プレート抜け出し	
(平均)		2752.6	15.7	0.48 ×	— ×	— ×	—		
4-1	・スリーブつなぎ無し	9659.7	55.3	1.68 ○	1.92 ○	1.75 ○	0.22 ○	プレート破断	○
4-2	・プレートT字	9652.1	55.2	1.67 ○	2.12 ○	2.05 ○	—	プレート破断	
4-3	・埋込み7.5cm	9744.1	55.7	1.69 ○	2.15 ○	2.04 ○	—	プレート破断	
(平均)		9685.3	55.4	1.68 ○	2.06 ○	1.95 ○	—		
5-1	・スリーブつなぎ無し	10304.0	57.2	1.73 ○	1.65 ○	1.72 ○	0.08 ○	プレート破断	○
5-2	・プレート突起	10334.6	57.4	1.74 ○	2.05 ○	1.99 ○	—	プレート破断	
5-3	・埋込み10cm	10611.1	59.0	1.79 ○	2.10 ○	2.06 ○	—	プレート破断	
(平均)		10416.6	57.9	1.75 ○	1.94 ○	1.92 ○	—		
6-1	・スリーブつなぎ無し	1903.2	10.9	0.33 ×	— ×	— ×	— ×	プレート抜け出し	×
6-2	・ボルト付プレート	1995.3	11.4	0.35 ×	— ×	— ×	—	プレート抜け出し	
6-3	・埋込み5cm	2067.0	11.8	0.36 ×	— ×	— ×	—	プレート抜け出し	
(平均)		1988.5	11.4	0.35 ×	— ×	— ×	—		
判定基準				≥ 1.35	$\geq 0.9E_0$	$\geq 0.7E_0$	≤ 0.3		

○: 判定基準を満足している ×: 判定基準を満足していない E_0 : プレートのヤング係数 ($= 2.0 \times 10^6$ kg/cm²)

5. 最適因子の組合せ

少ない試験体数における実験結果から最適条件を選択するために、実験生データを変換したデータに基づいて最適条件を推定する。ここでは、生データをSN比 (dbに変換) を用いてデータ変換[2]することにより実験結果を検討する。以下にSN比の求め方を示す。

①望大データ[2]

大きければ大きいほど望ましいデータ。引張強度、剛性、靱性が望大データとなり、SN比 (η) は (1) 式により求める。データが y_1, y_2, \dots, y_n と存在するとき、

$$\eta = -10 \cdot \log \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots + \frac{1}{y_n^2} \right) \quad [\text{db}] \quad (1)$$

と変換する。データ y_i が大きいほど η の値は大きくなる。

②望小データ[2]

小さければ小さいほど望ましいデータ。今回の実験における滑り量が望小データとなり、SN比 (η) は (2) 式により求める。データが y_1, y_2, \dots, y_n と存在するとき、

$$\eta = -10 \cdot \log \frac{1}{n} \cdot (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2) \quad [\text{db}] \quad (2)$$

と変換する。データ y_i が小さいほど η の値は大きくなる。

以上のデータ変換に基づいた実験結果を、図-7に示す。また、試験体の引張強度は、プレート母材の引張強度に対する実験値 (P) の比 (以下比強度) とし、剛性は $0.95\sigma_{y0}E$ ($0.95\sigma_{y0}$ の応力における接合プレートの割線剛性、 σ_{y0} : 母材の規格降伏点)、滑り量は $P=0.95\sigma_{y0}$ 除荷時の残留変位量 ($i_0\delta_s$)、靱性は最大荷重時の変位量 (25mm以上は試験機の容量により計測できなかったため、最大値は25mm) とした。先述した通り、比強度、剛性、靱性は望大データ、滑り量は望小データである。スリーブ形状に関しては、比強度、靱性において補強有スリーブのSN比が若干高いが、スリーブ中央部の補強の有無による有意差はほとんどみあたらない。これは、本実験の範中ではスリーブの剛性が高すぎたため (設計必要肉厚 < 製造肉厚)、補強の有無による差がでなかったと思われる、実施レベルでは適切な剛性となるようにスリーブ肉厚を改善する必要がある。プレート形状に関しては、比強度・靱性においてはT字型の板付プレート (B1) と多数突起付プレート (B2) の差は無く十分な効果が期待できたが、剛性・滑り量においては、B1に比べB2の多数突起付プレートのSN比の方が高い。また、ボルト付プレート (B3) は、B1およびB2と比較してSN比が極端に小さくなり、プレートにボルトを付けることにより、グラウトとの付着力を期待しても効果が少ないことが確認できた。埋込み長さに関しては、SN比で5cm (C1) < 10cm (C3) < 7.5cm (C2) の順となった。予測に反して10cm (C3) より7.5cm (C2) の値が高い結果となったのは、領域の違ったデータいわゆるプレート形状 (B3) に左右されたためと考えられる。

以上の検討結果から、スリーブおよびプレートの最適条件を考えると、図-7における各項目でSN比の高い組合せとして、[A1-B2-C2]の組合せが最も好ましいと思われる。

6. まとめ

本研究では、スリーブおよびプレートの最適条件として、[A1-B2-C2]が最も好ましい組合せとなったが、多数突起付プレート (B2) は製作に非常に手間がかかり、またプレート形状をT字型の板付プレート (B1) にしてもA級継手[1]に対する判定結果を満足しているため、[A1-B1-C2]の組合せの適用可能性が最も高いと思われる。

したがって、今後は実スケールモデルによる確認実験や、柱部材内におけるスリーブの性状等の確認を通して、実用化に向けた研究を進めていきたい。

(参考文献)

- [1]日本建築センター編:機械式鉄筋継手性能判定基準1982
- [2]森輝雄:田口メソッドを使った新実験計画法入門

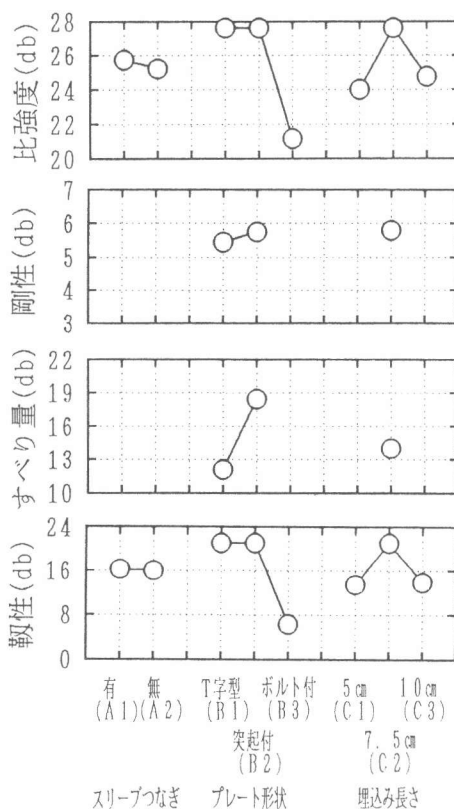


図-7 要因効果