

論文

[1027] 静的破碎剤を用いたケミカルジャッキによる PC 部材の接合法

正会員○原田哲夫 (長崎大学 構造工学科)
 正会員 松田 浩 (長崎大学 構造工学科)

1. まえがき

コンクリート工事の分野では、省力化、高品質化のためにプレキャスト化がすすめられているが、重要なのは現場におけるプレキャスト部材の接合法と考えられる。接合法の1つに、例えば、プレキャストコンクリート(PC)のはり・柱間をプレストレスを導入して圧着接合する方法があげられる。通常はPCはり・柱間にPC鋼材を通し、油圧ジャッキで緊張して接合する方法がとられているが、この場合、緊張作業を含めそのほとんどが人の手に頼っているのが現状である。

そこで、さらに省力化を推し進め、安全性を向上させるという観点から、筆者らは油圧ジャッキのかわりに、静的破碎剤の高膨張圧を利用したいわゆる”ケミカルジャッキ”に着目し、これによって自動緊張および接合する方法についての研究を行っている。本論ではまず、最も重要なジャッキとしての能力、すなわち緊張能力、ストロークがどの程度のものかについての基礎的な検討を行った。”ケミカルジャッキ”とは、静的破碎剤の水和反応にともなう膨張圧を利用したジャッキであることから、このように呼んでいる。

2. ケミカルジャッキによる接合法の概要

図-1に示すように、緊張側に静的破碎剤を充填するシリンダー(シリンダー部の詳細は図3参照)をあらかじめセットしておき、現場組み立ての際、プレキャストコンクリートのはり・柱間に結合用のPC鋼棒を通し、端部をナットで固定する。その後、シリンダー部に静的破碎剤スラリーを充填するだけで、膨張圧の発現にともなう緊張力で、緊張作業が自動的に行える工法である。ケミカルジャッキにより十分な緊張能力が確保されるのであれば、緊張作業における手間や危険性がなくなること、油圧ジャッキの場合のような機器の高所への運搬は不要となるなど、施工面の改善が一気に達成できるのである。また、部材内には、10cm程度の定着用ナットをセットできる程度のスペースをとっておくだけでよく、油圧ジャッキを用いる場合のような大きなジャッキ装着スペースと作業スペースをとる必要はなく、欠損断面を著しく小さくできる。さらに、構造物に局所的なプレストレスを導入することも可能となるなど多くの特長を有している。

3. ケミカルジャッキの特性

ケミカルジャッキについては、これまで、モデルートプレストレス導入による

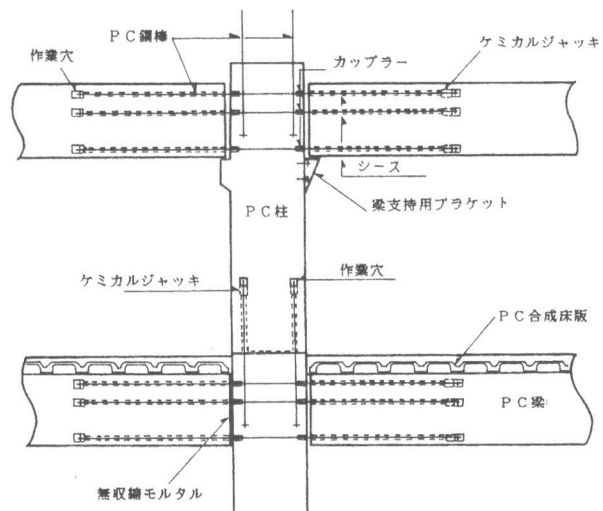


図-1 PCはり-柱接合概要図

マスコンクリートの温度ひびわれ制御に利用したという報告がなされているが、静的破砕剤には遅延タイプが用いられ、セメントの水和発熱を

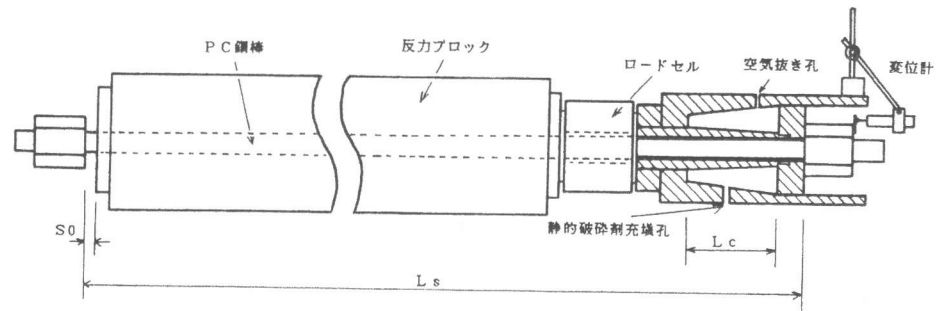


図-2 実験装置の概要

利用して膨張圧の発現を促進させる方法がとられている[1]。今回は $\phi 23\text{mm}$ のPC鋼棒を使用して、特に加熱することなく、48時間後に20tfの緊張力が得られることを目標としているため、標準タイプか短時間タイプの静的破砕剤を使用する点で文献[1]と異なっている。また文献[1]では、ジャッキとしての緊張能力を調べるために、鋼棒の伸びに相当する変位をあらかじめナットとアンカープレートとのすきま s_0 として考慮し、短い鋼棒を使用しての基礎実験がなされているが、所定の長さのPC鋼棒が、膨張の初期から緊張される場合とでは、結果が異なってくるものと思われる。すきまをセットし、初期に自由膨張を許す場合も含め、ジャッキストロークと緊張能力の関係、すなわちジャッキとしての特性について、改めて検討する必要がある。

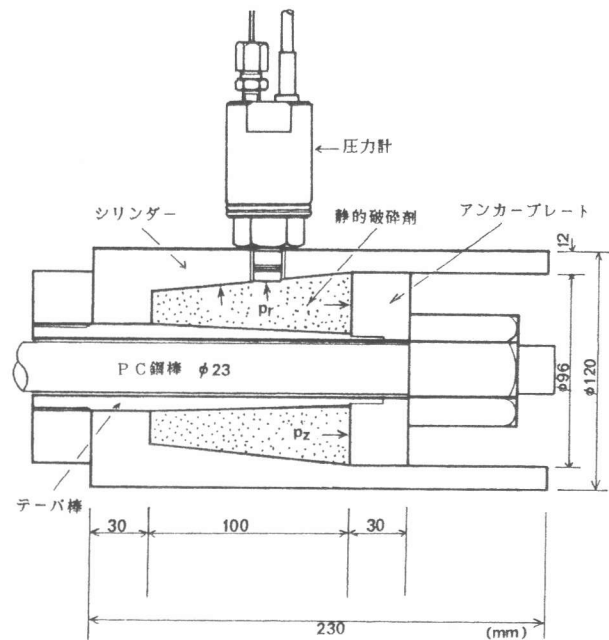


図-3 ケミカルジャッキ部拡大図

3.1 実験概要

図-2のような装置を用い、緊張能力が、鋼棒の長さ L_s あるいはアンカープレートとナット間のすきま s_0 に応じて、どのように変化するかをセンターホール型ロードセルで、また、ジャッキストロークに対応するアンカープレートの変位 s を高精度型変位計で測定した。同時にシリンダー半径方向の膨張圧 p_r をダイヤフラム型圧力計で、静的破砕剤の温度は熱電対で測定した。反力は鋼棒の長さに応じ、鋼製のブロックまたはフレームで受ける。シリンダー部を拡大した状態を図-3に示す。軸方向への膨張を効率よくする目的で、内部にはテーパをつけた。比較のため、ストレートの場合についても検討した。また、いずれの場合も静的破砕剤とシリンダー内周面との間の摩擦を軽減するため、内周面にはグリスを薄く塗布している。

使用した静的破砕剤は、スラリータイプ2種類(それぞれ、NB-20(20℃用)、NB-30(30℃用))と顆粒タイプ(B-2000P)1種類である。顆粒タイプは短時間用破砕剤である。このように静的破砕剤の種類をかえたのは、現場におけるジャッキシリンダー部への充填作業性と緊張力の発現性能を検討するためである。スラリータイプでは、水-破砕剤比27.5%で練り混ぜ、シリンダー下方から、内径10mmのビニールチューブを用いて、1.2m程度

のヘッド圧をかけて充填する方式である。顆粒タイプの場合は、あらかじめ静的破碎剤のみをシリンダー内に軽く振動をあたえながらつめておく。この場合の空隙率は約20%と水-破碎剤比とほぼ同じになるように充填した。その後シリンダー下方から、注射器等によって規定量の水を圧入する方式である。この場合、現場においては水量のみ管理すればよく、作業もクリーンなものとなる。実験は $L_s = 5$ mの場合を除き、25℃の恒温室で実施した。

3. 2実験結果および考察
 いずれの充填方法でも十分満足のいく作業性であった。図-4は、静的破碎剤の種類およびPC鋼棒の長さの違いによる緊張力の経時変化である。PC鋼棒の長さ、静的破碎剤の種類によって緊張力の大きさが変化している。しかし、いずれの場合も徐々にではあるが緊張力が増加している。このうちのいくつかは、約2週間測定したが、緊張力

の低下はみられなかった。これまでの研究で、鋼管に静的破碎剤を充填して長期における膨張圧を計測しており、充填から約1年半経過した場合、膨張圧は低下することなく 1200 kgf/cm^2 の膨張圧でほぼ定常状態となっているという結果を得ている。このことから、拘束さえしっかりしておけば、長期における緊張力の低下はないものと推察される。

図-5には静的破碎剤温度と緊張力の経時変化を対応させて示した。温度が上昇しはじめる時点から緊張力が急激に上昇しはじめ、温度がピークに達するあたりで緊張力の上昇率は急にゆるやかになっていることがわかる。温度上昇の早いB-2000Pは、緊張力の発現も早い。緊張力の伸びが小さく、緊張力の絶対量も小さいことがわかる。ケミカルジャッキとしての特性を論ずるには、緊張力の発現時間、絶対量の点で、NB-20を用いた場合が適当と判断されたので、以後は、NB-20の場合を主体に行った実験結果について述べる。

図-6(a), (b), (c)に、PC鋼棒の長さの違いによる緊張力能力Pと、ジャッキス

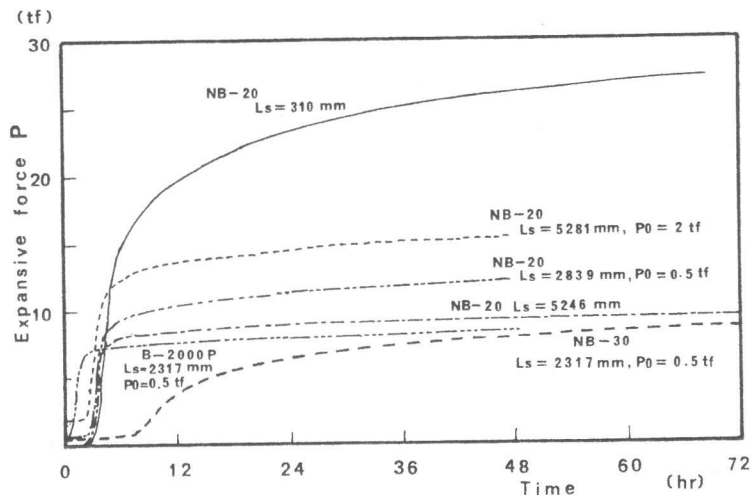


図-4 静的破碎剤の種類および拘束条件の違いによる緊張力の経時変化

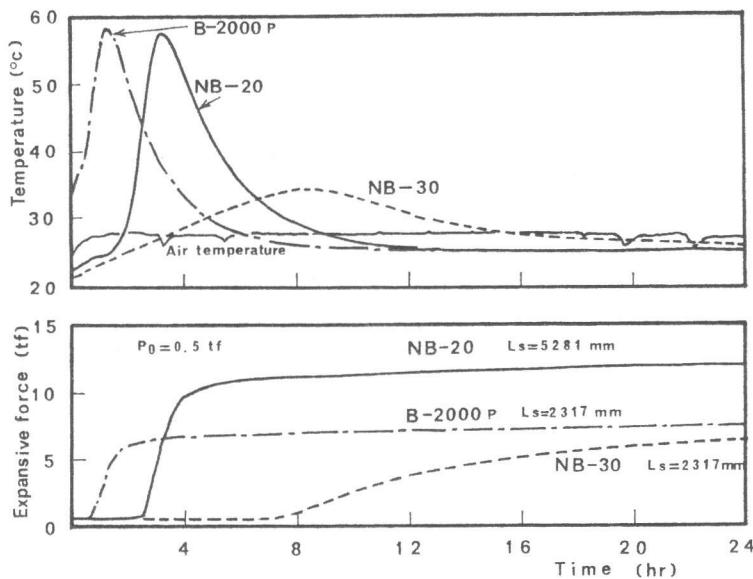


図-5 静的破碎剤温度と緊張力の経時変化

トローク s の関係を示す。 s には、後述のように PC 鋼棒の伸び、すきま s_0 の他に反力ブロックの変形の影響が含まれる。同図によると PC 鋼棒の長さが短い程、すなわち剛性が高くストロークが小さい程、大きな緊張力が得られている。しかしながら、初期にナットとアンカープレートと間にすきま s_0 があつたり、反力ブロック間のなじみ等がある場合の影響は大きく、緊張力の低下につながっている。逆に、あらかじめわずかな力（初期緊張力 P_0 ）で PC 鋼棒を緊張していた場合は、緊張力は高めにでている。このことから、実際の施工においては、ケミカルジャッキの性能をおとさないために、ナットはスパナ等でよく締め付けておくことが必要と考える。スパナで締め付ける程度でも 0.5 tf 程度の緊張力が得られることを確認している。

図-6 (a), (b), (c) いずれも式 (1) のような直線で表わされることがわかる。

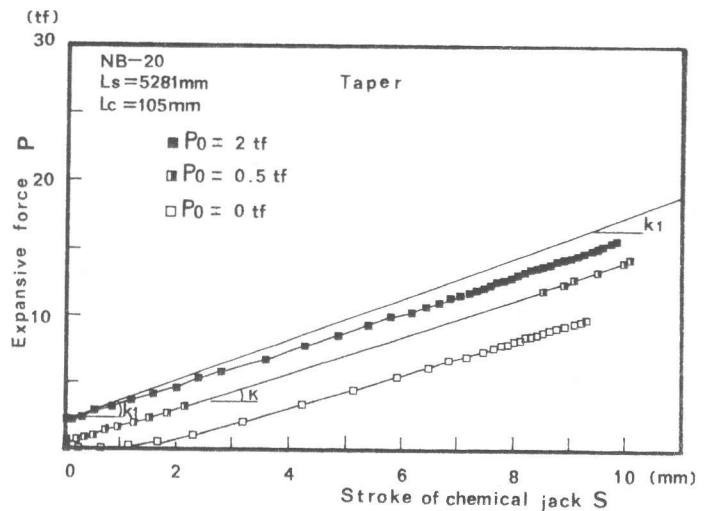
$$P = K \cdot s \quad (1)$$

傾き K は、PC 鋼棒の剛性 $k_1 = E_s A_s / L_s$ と反力ブロックの剛性 k_2 の直列バネの定数と考えられ、式 (2) で表わされる。

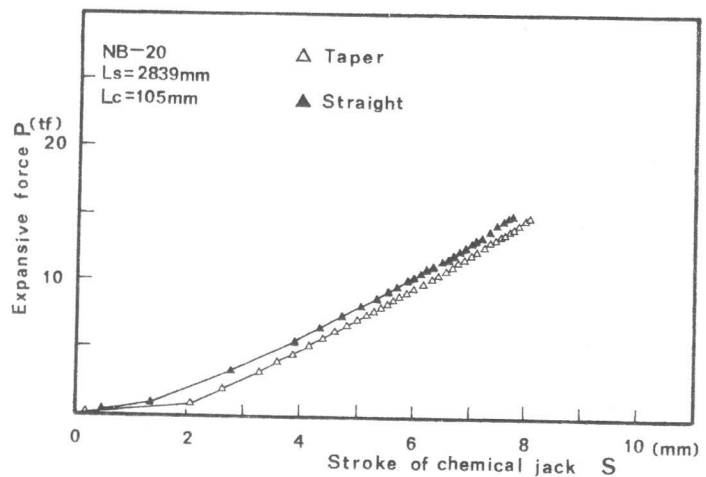
$$1/K = 1/k_1 + 1/k_2 \quad (2)$$

反力ブロックが完全な剛体であれば、 $K = k_1 = E_s A_s / L_s$ であるが、図-6 (a) に示したように剛性 k_2 の影響があらわれている。

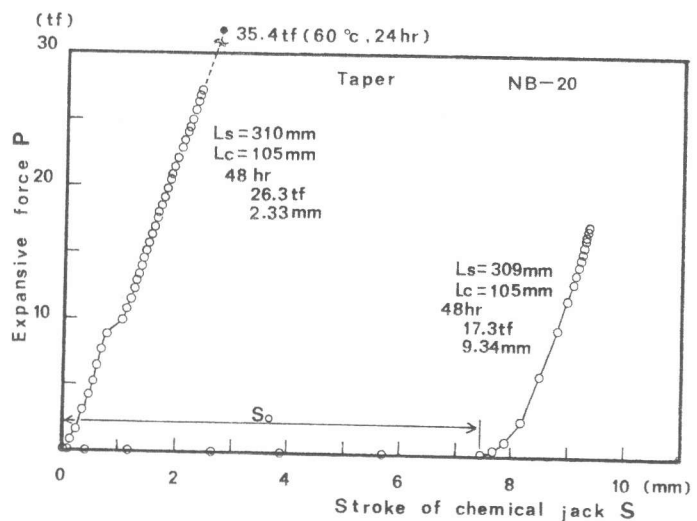
P と s で囲まれる面積は、静的破



(a) $L_s = 5281$ mm の場合



(b) $L_s = 2839$ mm の場合



(c) $L_s = 310$ mm の場合

図-6 ジャッキ緊張能力とストロークの関係

砕剤が拘束体に対して作用した仕事量である。これを単位体積あたりの仕事量 U_z として48時間の時点での値を計算すると、表-1のようになる。初期緊張力が大きい程 U_z の値はわずかに大きく、また初期変位 s_0 がある場合にはやや小さくなっているが、NB-20の場合、 $L_s=300\text{mm}$ と極端に剛性 K が大きくなければ、 U_z の値はほぼ同じとみなしてよさそうである。もしそうであるなら、剛性 K が与えられたときのケミカルジャッキの緊張能力 P は、式(4)により計算できることになる。式(4)は次のようにして誘導できる。まず、 U_z は軸方向膨張圧 p_z を用いて、式(3)のように表わせる。

$$U_z = 1/2 (p_z \cdot \Delta V / V_0) \quad (3)$$

ただし、 $p_z = P / A_b$ (kgf/cm^2)

$$\Delta V = A_b \cdot s \quad (\text{cm}^3)$$

ここに、 P : 緊張力, A_b : アンカープレート部の静的破砕剤断面積, V_0 : シリンダー内の静的破砕剤の充填容積(膨張前の容積)。

式(3)を式(1)を用いて変形すれば、

$$P = \sqrt{2 U_z K V_0} \quad (4)$$

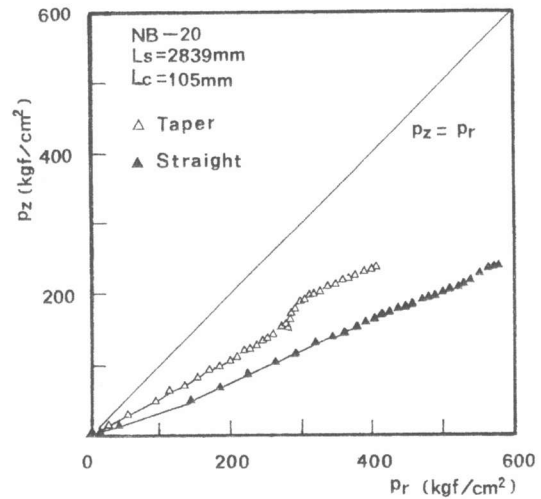
また表-1では、シリンダー内部にテーパを付けた方がストレートの場合より U_z の値が大きくなっており、膨張エネルギーが軸方向に、効率的に作用していると考えられる。

図-7(a), (b)に軸方向膨張圧 p_z と半径方向膨張圧 p_r との関係を示した。 p_r は圧力計で直接測定した値であり、 $p_z = P / A_b$ である。図-7(a)は同一鋼棒長におけるテーパとストレートの場合の比較である。ストレートの場合は $p_z = 0.4 p_r$ 程度と低く、テーパの方が上記と同様、より軸方向に膨張圧が作用していることがうかがえる。

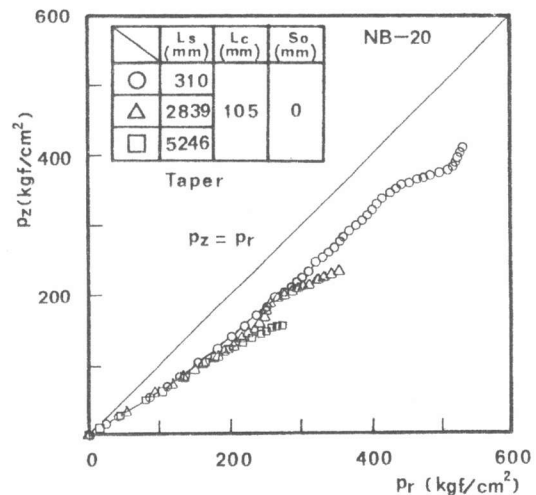
図-7(b)は、テーパの場合で鋼棒の長さを変化させた場合について示した。同図より、初期の段階では、鋼棒の長さを変化してもほぼ

表-1 単位体積あたりの膨張エネルギー

静的破砕剤の種類	L_s (mm)	シリンダー内部形状	P_0 (tf)	S_0 (mm)	U_z (kgf/cm^2)
NB-20	5246	テーパ	0	1.41	8.68
	5281		0.5	/	10.21
			2.0		14.49
	2839	ストレート	0	0	8.07
		テーパ		1.75	11.32
	310	テーパ	0	0	6.06
	357			0.59	4.10
309	8.00			2.17	
NB-30	2317	ストレート	0.5	/	1.68
		テーパ			3.12
B-2000P	2327	ストレート	0.5	/	1.99
	2317	テーパ			2.84



(a) テーパの場合とストレートの場合の比較



(b) PC鋼棒の長さの違いによる比較

図-7 p_z と p_r の関係

$p_z = 0.6 p_r$ となっているが、最終的には $L_s = 300 \text{ mm}$ の場合で $p_z = 0.8 p_r$ と剛性が高くなるにしたがって、より液圧に近い挙動をすることがわかる。いま、弾性係数 E_s' 、ポアソン比 ν_s 、外内径比 k 、長さ L_c のシリンダー中に、弾性係数 E_b 、ポアソン比 ν_b 、断面積 A_b の弾性体がつまっております、これが膨張率 α で半径方向と軸方向にそれぞれ膨張したと仮定する。このとき、軸方向には弾性係数 E_s 、断面積 A_s 、長さ L_s の鋼棒で自由膨張 α を拘束した場合の p_z と p_r の関係を求めると、

$$p_z = \beta \cdot p_r \quad (5)$$

$$\text{ただし、} \quad \beta = \frac{(1 + \nu_b)(1 + \alpha) + E_b/E_s' \{ (k^2 + 1)/(k^2 - 1) + 2\nu_s \}}{(1 + \nu_b) + (L_s/E_s A_s)(E_b A_b/L_c)}$$

鋼棒が長くなって、剛性が低い場合には β の値は小さくなる。逆に、シリンダー、鋼棒ともに剛である場合は、 $\beta = 1$ となって液圧的に作用することがわかる。このことは、図-7 (b) を定性的に説明している。

実際の施工では、2.5~5 m 程度の PC 鋼棒を想定しており、今回の実験では 48 時間で目標の 20 t f は得られなかったものの、10~16 t f の緊張力が得られた。今後、シリンダー内部のテーパ角度および静的破碎剤量を変化させることで、目標を達成できると考えている。もちろん、ケミカルジャッキ用として安定した静的破碎剤への改良も必要と思われる。なお、今回は 25℃ の場合の基本的な特性を調べたが、周囲の温度による影響、静的破碎剤のクリープによる緊張力への影響等は重要であり、これらについては今後の課題としたい。

4. まとめ

(1) ケミカルジャッキによる PC 部材の接合法が実用化されれば、多くのメリットがあり、省力化施工法として優れた工法となりうる。

(2) 現時点で、 $\phi 23 \text{ mm}$ 、長さ 2.5~5 m 程度の PC 鋼棒の場合で、48 時間後に 10~16 t f の緊張力が得られる。

(3) ケミカルジャッキの緊張能力は、ストロークによって敏感にきいてくるので、ナットとアンカープレート間のすきま、PC 鋼棒のたるみ等はスパナで締め付けるなどして極力なくしておくことが必要である。

(4) シリンダー内部にテーパをつけることは、緊張能力を高めるうえで有効と思われる。

[謝辞] 本研究に対し、材料の提供等のご配慮いただいた (株) 富士ピー・エスならびに (株) 小野田開発研究所の関係各位に厚く御礼申し上げます。また、実験にご協力いただいた長崎大学卒研究生の江藤健二、中村 晃両君に深く感謝いたします。

[参考文献]

1) 伊藤洋、清水昭男、坂口雄彦、西岡吉弘：モデルートプレストレス導入による温度ひびわれ制御に関する研究、土木学会論文集 第408号/V-11、pp81~90、1989.8