

(141) CPC薄板のプレストレス導入に及ぼす養生温度の影響に関する研究

九州工業大学工学部 ○山崎 竹博
 同上 正会員 出光 隆
 九州共立大学工学部 正会員 渡辺 明

1. まえがき

膨張コンクリートは1979年に「膨張コンクリート設計・施工指針(案)」として土木学会に規定され、翌年1980年には膨張材そのものの品質がJIS A 6202に制定された比較的新しい材料である。JISに定める品質規定は表-1の通りであるが、コンクリートとしての膨張ひずみは水粉体比や単位膨張材料、材料温度、鉄筋による拘束度などの条件で大きく変動する。このため、現行の土木学会標準示方書では鉄筋比1%での拘束状態で発生する膨張ひずみを特に膨張率と規定している。

本論文では、一般の部材に生じる膨張はひずみで表し、膨張率とは区別した。このような膨張材を用いたケミカルプレストレス導入部材を作製する場合、600~700 μ にも達するコンクリートの乾燥収縮に加えてクリープによる収縮も生じるため、膨張ひずみの上限値を700または1000 μ とする土木学会標準では十分なプレストレスが期待できないことから、著者らは1000 μ を越える膨張ひずみを発生させるコンクリートを特に高膨張コンクリートと呼びその性状に関する実験的検討を行ってきた。それらの結果から①膨張ひずみの大きさは単位膨張材率に比例して大きくなること、②3000 μ 程度のひずみを発生する高膨張コンクリートでは水粉体比が30~32%で最大ひずみに達すること、③圧縮強度40N/mm²以上の強度を発現するには膨張ひずみを5000 μ 以下に抑えること、④ケミカルプレストレスはコンクリート強度と膨張ひずみ発生との進行度が均衡している場合に最大となり、初期養生温度が20~30 $^{\circ}$ Cの場合に最大となること、⑤拘束膨張によって導入されるケミカルプレストレスは緊張材比が1%程度までは緊張材比と共に増加することなどが明らかとなった。

本論文では、さらに強度と膨張ひずみとの関係を考察するため異なる養生温度を変え、高膨張コンクリートを用いた有効なケミカルプレストレスの導入を目標に実験的検討を行った。¹⁾⁻⁶⁾

ここで、高膨張材料とは破砕剤やケミカルジャッキ、定着用膨張材、ひずみが1000 μ 以上の膨張コンクリートなど高い圧力と大きい膨張ひずみを期待する

表-1 膨張材の品質規定 (JIS A 6202)

項目		測定値	
化学成分	塩化カルシウム(%)	5.0以下	
	強熱減量(%)	3.0以下	
物理的性質	比表面積 (cm ² /g)	2000以上	
	1.2mmふるい残分(%)	0.5以下	
	凝結	始発 (min)	60以後
		終結 (h)	10以内
	膨張性 (長さ変化率)	7日	0.00030以上
		28日	-0.00020以上
圧縮強さ kg/cm ² (Mpa)	3日	70 [6.9] 以上	
	7日	150 [14.7] 以上	
	28日	300 [29.4] 以上	

材料と定義し、破砕剤などのように単体で高膨張材となるものと、表-1に示す膨張材を混和剤的に使用する高膨張コンクリート等に分類する。

2. 実験概要

2.1 膨張材の性質

一般に使用される膨張材には、エトリンガイトの結晶化反応を主力としたエトリンガイト系と水酸化カルシウムの結晶化反応およびCaOの吸水崩壊との複合力を主力とした石灰系とがある。本研究では、高い膨張圧を期待する破砕剤から定着用膨張材に至る研究過程で高膨張コンクリートへの応用を図ったことか

表-2 膨張材の化学成分

銘柄	比重	粉末度 (cm ² /g)	化学成分 (%)						備考	
			強熱減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		SO ₃
O型	3.14	3.500	0.4	9.6	2.5	1.3	67.3	0.4	18.0	石灰系

ら、表-2 に示す石灰系の膨張材を使用してケミカルプレストレスの導入性状を調査した。

2.2 膨張コンクリートの温度条件

高い膨張ひずみと長期間のケミカルプレストレスを期待する膨張コンクリートでは、石灰の膨張作用とセメントの硬化反応のバランスが重要であり、膨張反応が大きくても強度の発現が遅れる場合には、導入プレストレスは増大しない。このように、強度と膨張のバランスが導入プレストレスに影響を与えることから、本研究では、表-2 に示す膨張材

表-3 打設時の膨張コンクリートの性質

バッチ	膨張材量 (kg/m ³)	水粉体比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	養生温度 (°C)	変更材齢 (日)
11-4	96	30.0	8.3	3.2	10→20	2
					10→30	2
					20→30	2
11-16	96	30.0	9.0	1.8	10→20	3
					10→30	3
					20→30	3
11-24	96	30.0	7.5	2.4	10→20	4
					10→30	4
					20→30	4

を使用した高膨張コンクリートの養生温度を材齢2~4日の間で表-3 のように変化させプレストレスの導入性状を調査した。

表-4 高膨張コンクリートの実験配合

水粉体比 W/P(wt.%)	細骨材率 s/a(%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤 xP(wt.%)
			水 W	粉体 P		細骨材 S	粗骨材 G	
				セメント C	膨張材 E			
30.0	48	3	163	448	96	785	871	0.80

2.3 使用材料・供試体

膨張材には石灰系、粗骨材には最大寸法10mm、比重2.73の砕石、細骨材には比重2.53

の海砂を使用し、セメントには比重3.15の普通ポルトランドセメントを使用した。

薄板を対象にしたケミカルプレストレス部材の緊張材はかぶりを極めて薄くする必要があるため、錆の生じない緊張材として表-5に示すCFRP(樹脂で成型された炭素繊維)φ5mmより線を一方に配置した。緊張材破断時の伸び率から見て、コンクリートの自由膨張ひずみが5000μ程度では破断の危険性はない。圧縮強度試験には円柱供試体φ10×20cmを使用し、自由膨張後の強度を測定しているため、薄板供試体よりも低い強度となっている。

2.4 実験配合

高強度を目的として表-4に示すように水粉体比を既報の配合よりも少ない30.0%とした。⁹⁾そのためスランプ値はかなり小さく、一般的に使用される8cm程度となったため、結果的にはこれまでの一連の実験報告よりも低い強度となった。配合決定の方針としては、1m³当たりのペースト(水+セメント+膨張材)の容積が336l一定となるように定めた。

2.5 温度管理

実験に使用する材料は図-2に示すように、打設前24時間からそれぞれ恒温養生室で10, 20, 30°Cの各温度に調整し、打設後再び同養生室内で湿布に散水して湿潤養生した。供試体は打設後24時間で脱型し、膨張ひずみは供試体の緊張材に貼付したストレインゲージで測定した。供試体は各温度変更日まで設定温度に管理し、その後20°Cの標準養生室(20°C)に一部を移し、残りの供試体は恒温養生室を変更して材齢7日ま

表-5 CFRPの規格値

緊張材種類	断面積(mm ²)	破断荷重(kN)	破断強度(MPa)	弾性係数(GPa)	伸び率(%)
より線CFRP	10.1	21.4	2117	144	1.6
格子状CFRP	17.5	20.6	1176	98	1.3

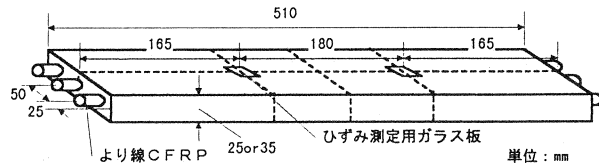


図-1 一方向供試体(より線CFRP使用)

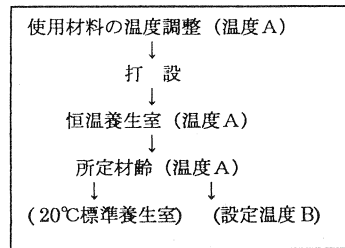


図-2 供試体の温度管理状況

で各温度下で養生した。打設後の膨張ひずみは緊張材に貼付したひずみゲージを恒温室外から測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 養生温度の変化と緊張材ひずみ

図-3.1には材齢2日で供試体温度を10から20℃, 10から30℃, 20から30℃にそれぞれ変化させた場合の膨張ひずみ発生状況を示している。また, 図4-1には時間当たり発生する膨張ひずみの値を示している。両図の結果から, 材齢2日まででは10℃よりも20℃養生の方が高いひずみ速度を示すが, 2日から30℃に温度上昇した場合には初期に温度の低い方が高い最大ひずみを示す傾向が分かる。その傾向は温度変化の材齢が異なる場合でも共通して認められるが, 材齢が長期になるに従って, 温度変化後の膨張ひずみの発生速度は小さくなり, 温度変化による膨張ひずみの増加は見られなくなる。このことから, 温度変化よりも変化

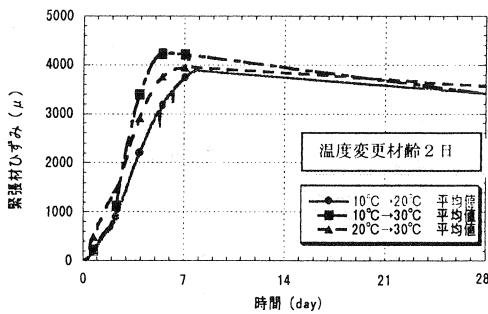


図-3.1 材齢2日で温度変化させた供試体の緊張材ひずみ

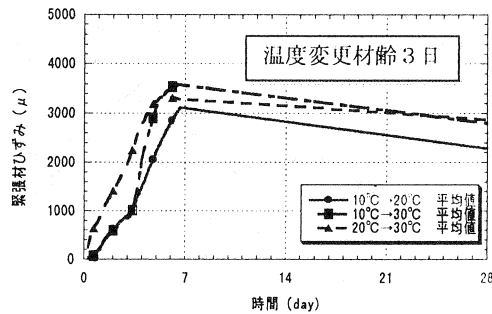


図-3.2 材齢3日で温度変化させた供試体の緊張材ひずみ

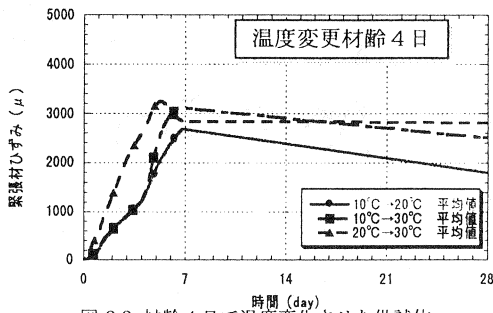


図-3.3 材齢4日で温度変化させた供試体の緊張材ひずみ

図-3 温度変化と緊張材ひずみ

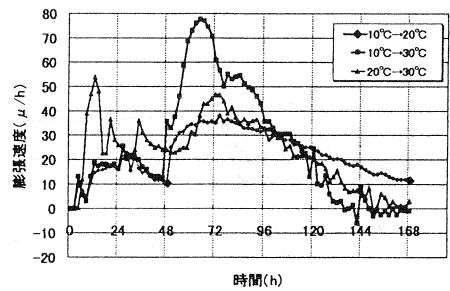


図-4.1 材齢2日で温度変化した供試体の膨張ひずみ速度

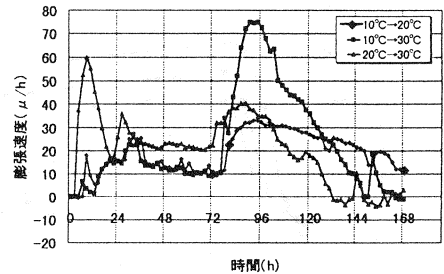


図-4.2 材齢3日で温度変化した供試体の膨張ひずみ速度

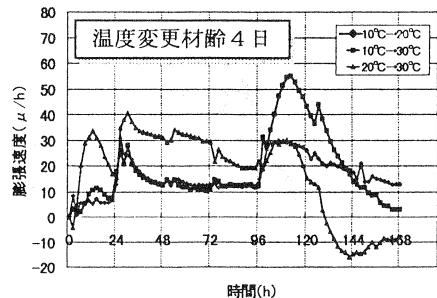


図-4.3 材齢4日で温度変化した供試体の膨張ひずみ速度

図-4 温度変化と膨張ひずみ速度の関係

を与える材齢の方が膨張ひずみの発生に強い影響を持つものと考えられる。

3.2 養生温度変更日と膨張ひずみ

図-5 は変更温度毎に変更材齢の異なる温度養生を行った場合の膨張ひずみの発生状況をまとめたものである。図-5.1には10~20℃の変化を、図-5.2には10~30℃、図-5.3には20~30℃の温度変化における膨張ひずみの経時変化を示している。図-6には図-5から得られた時間当たりのひずみ増分の経時変化を示している。それらの結果から低い温度で打設して若材齢で養生温度を上げる際、図-5.2および図-6.2に見られるように変更温度が大きい場合には最大膨張ひずみが得られるものの、湿潤養生下でのクリープによると考えられる緊張ひずみの低下も大きくなるのが分かった。

長期的に安定したケミカルプレストレスを導入するためには初期には、膨張反応と適度な硬化反応が同時に進行する20℃で養生し、4日以降の膨張反応が収束に向かう時点で加温することが望ましいといえる。

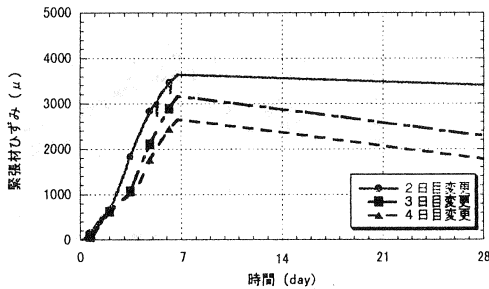


図-5.1 変更温度10→20℃における膨張ひずみの経時変化

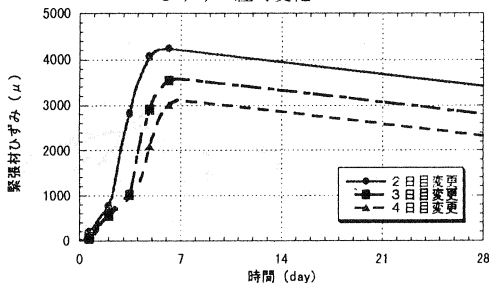


図-5.2 変更温度10→30℃における膨張ひずみの経時変化

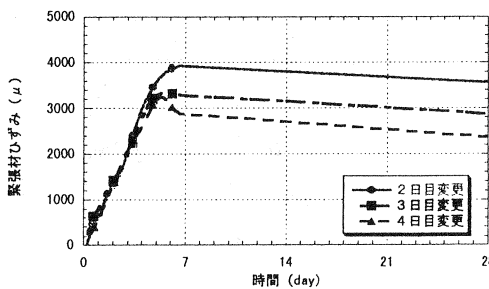


図-5.3 変更温度20→30℃における膨張ひずみの経時変化

図-5 温度変更日の材齢と緊張材ひずみの経時変化

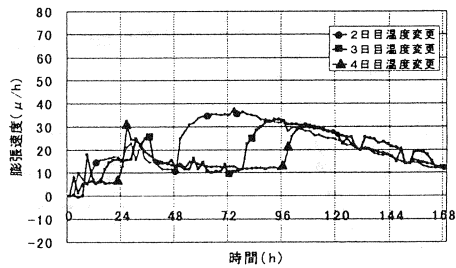


図-6.1 変更温度10→20℃における膨張速度

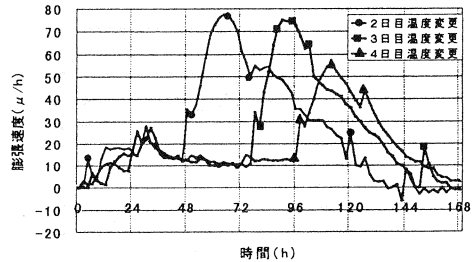


図-6.2 変更温度10→30℃における膨張速度

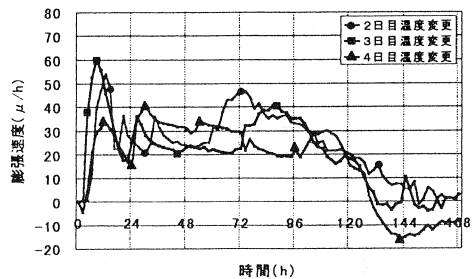


図-6.3 変更温度20→30℃での膨張速度

図-6 温度変更日の材齢と膨張速度の経時変化

3. 3 養生温度変更が及ぼす圧縮強度への影響

薄板の膨張コンクリート打設時に作製した円柱による自由膨張状態のコンクリート強度を図-7.1~7.3中の折れ線でそれぞれ養生温度変更材齢毎に示した。自由膨張状態での強度は、薄板など拘束された供試体とは異なり、高い緊張材ひずみが得られた温度20℃から30℃変更のすべての供試体で養生温度の変更材齢に拘わらず低下していることが分かる。一方、同図の棒線で示される下縁強度(曲げ強度)には殆ど差異は見られず、膨張コンクリートの圧縮強度と曲げ強度は比例関係にあるので拘束コンクリートの圧縮強度には低下はないものと考えて良い。

3. 4 薄板供試体の曲げ強度とプレストレス

薄板供試体の曲げ強度と、ひび割れ後に除荷し再びひび割れ試験から求めたプレストレスを図-7.1~7.3中の2つの棒線でそれぞれ示している。それらの図の比較から、曲げ強度が最も高くなる初期養生は、低い温度で材齢2日目から20℃に温度を上げた場合であり、高い温度での養生はプレストレスの増加にはなるものの、曲げ強度が低下するため部材耐力の増加にはあまり寄与しないと言える。このことは、図-5に示した緊張材ひずみの測定結果から得られた最も高いプレストレスを導入できる温度養生が必ずしも部材耐力に結びつかないことを意味している。

また、温度変更材齢で見た場合、材齢3日での温度変更はすべての温度で強度低下を生じており、強度と膨張ひずみとの均衡が最も取れにくい状態にあると考えることができる。

4. 薄板の6ヶ月後のプレストレス損失

ケミカルプレストレスの長期における損失を調べるため、昨年曲げ試験を実施した強度、プレストレスの分かっている一方向補強した薄板を用いて再度ひび割れ試験を実施した。それらの結果から得られた28日から5ヶ月後のプレストレス損失を図-8に示した。これらの供試体は材齢7日まで図中に示す一定温度で湿潤養生したもので、本実験の養生条件とは異なる。

図-8から、水粉体比30%で20℃養生した供試体のプレストレスが最も高く、プレストレスの減退率は37%であった。しかしながら、水粉体比が32.5%の場合でも養生温度が10℃一定の場合ではプレストレスの減退がほとんど見られない。これらの結果からも初期の養生温度は低い方が長期的に有利であることが分かる。

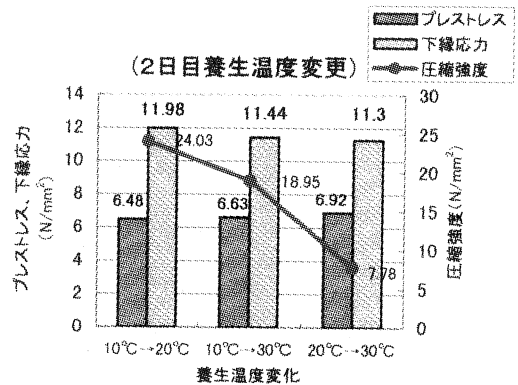


図-7.1 材齢2日で温度変更した薄板のプレストレス, 自由膨張圧縮強度

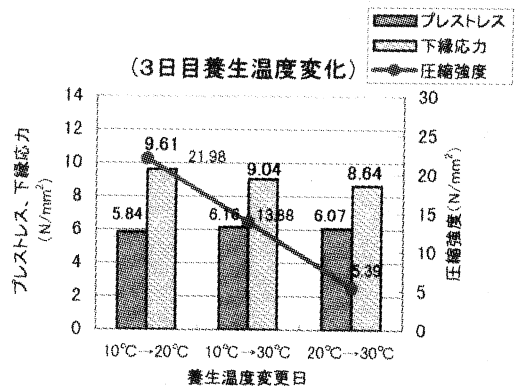


図-7.2 材齢3日で温度変更した薄板のプレストレス, 自由膨張圧縮強度

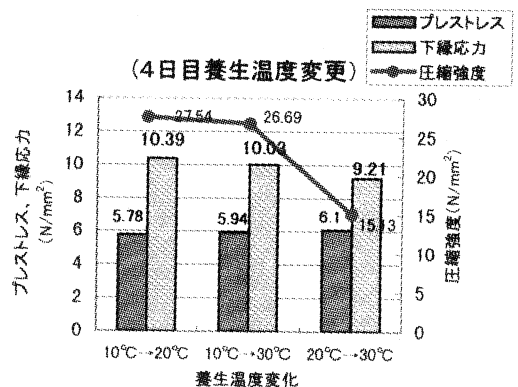


図-7.3 材齢4日で温度変更した薄板のプレストレス, 自由膨張圧縮強度

5. まとめ

以上の実験的考察から明らかとなった膨張コンクリートの初期材齢での養生条件と物理的性質に関する知見を述べる。

(1) 高い緊張材ひずみを得るためには打設時の材料温度を20℃程度とし、材齢2日目に30℃とすればよいが、必ずしも薄板の曲げ耐力向上には結びつかない。

(2) 長期的に高いケミカルプレストレスを導入するには20℃での養生が望ましいが、総合的に高い曲げ耐力を得るには10℃で打設し、2日目から20℃に温度変更することが好ましい。

(3) 自由膨張した膨張コンクリートの圧縮強度は高い緊張材ひずみを発生する条件下で大きく低下する。

(4) 28日から5ヶ月後のケミカルプレストレスは、水粉体比30%で20℃養生した供試体が最も高かった。しかしながらプレストレスの減退率は37%であった。

(5) 水粉体比が32.5%でも養生温度が10℃一定の場合ではプレストレスの減退がほとんど見られず、初期の養生温度は低い方が長期的に安定したプレストレスが得られる。

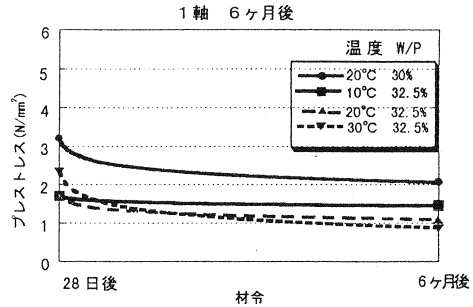


図-8 6ヶ月長期材齢によるプレストレス損失

おわりに

膨張材を用いて積極的にケミカルプレストレスを導入できるメリットは大きい。しかしながら現在の膨張材は自らを粗にして膨張するため、プレストレスを有効に導入するにはこれらの膨張結晶の骨格を如何に強くするかが重要となる。ポリマー等の有機材料を用いて乾燥収縮を小さくする工夫や膨張空隙を補填する混和材料の使用、緻密コンクリートへの応用など今後に期待したい。

参考文献

[1] 佐野史佳・出光隆・山崎竹博・ミョーキン：連続繊維緊張材を用いたプレテンションPC薄板の端部定着に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 2, pp. 847-852, 1994.

[2] 山崎竹博, 出光隆, 立石健二, 渡辺明：PC用高性能膨張材を用いた2方向PC埋設型枠用薄板の製作に関する研究、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol. 6, pp. 575-580, 1996. 10

[3] 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明：高性能膨張材を用いたケミカル2方向PC埋設型枠用薄板の製作に関する研究、土木学会第51回年次学術講演会, pp. 974-975, 1996. 9

[4] 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明：高膨張コンクリートPC薄板のプレストレス導入に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 2, pp. 847-852, 1994.

[5] 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明, 鶴田健：高膨張コンクリートの配合および養生条件と物理的特性、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol. 7, pp. 91-96, 1997. 10

[6] 山崎竹博, 出光隆, 小嶺啓蔵：高膨張コンクリートの配合および養生条件と物理的特性、プレストレストコンクリート技術協会、第8回シンポジウム論文集, pp. 527-532, 1998. 10

[7] 山崎竹博, 出光, 前口, 渡辺：CFRP管内に充填した定着用膨張材による連続繊維定着に関する研究、プレストレストコンクリート技術協会、第3回シンポジウム論文集, 1992, 11, pp. 291-296

[8] 山崎竹博, 出光隆, 渡辺明, 蔵重勲：膨張モルタル注入式耐圧性鋼管継手工法の開発に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集, V01.20, N0.3, pp. 217-222, 1998