

報告 高強度コンクリートを用いた推進管の開発

新田智博^{*1}・村山重春^{*2}・新沼文敏^{*3}・亀岡篤雄^{*4}

要旨：コンクリートを高強度化するための手段として無機系混和材を混入するのが一般的である。しかし、これは振動締固め製品に適してはいるものの、遠心力締固め製品では成形時に著しい材料分離をおこすため不向きとされている。本研究では、早強ポルトランドセメントと減水剤を用いて、コンクリートの強度が900kgf/cm²を満足し、かつ遠心力成形に適用できる配合を検討することでこれらの問題点を解決した。また、軸方向圧縮試験結果から実管についても目標強度の900kgf/cm²を超えることが確認できた。

キーワード：900kgf/cm²推進管、早強ポルトランドセメント、減水剤、遠心力成形

1. はじめに

現在、下水道協会規格として管体強度が500kgf/cm²、700kgf/cm²の推進管があるものの、これだけでは施工環境の変化にともなう長距離推進や曲線推進に適応できない場合も生じるため、より高強度な900kgf/cm²推進管の開発が望まれている。これには、シリカフェーム等の無機系混和材をコンクリートに添加し、細密充填させることによって高強度化を図ることが容易に予想される。しかし、この種のコンクリートは、遠心力成形を行った場合、分離水とともに微粉体が管内面に絞り出され、成形性の悪化や管体強度の低下につながる事が確認されており、遠心力鉄筋コンクリート管（以下ヒューム管という）の高強度化と成形性は背反するものとされてきた。

本研究では、早強ポルトランドセメント（以下早強セメントという）と減水剤を組み合わせ、遠心力成形に適用できる配合を検討することによって、現行ヒューム管と同等の成形性を得ることができた。また、このコンクリートは無機系混和材を用いた場合と比較して、セメントの単価は上がるものの、全体としてのコストを抑えることが可能となる。ここに、900kgf/cm²推進管の製造方法と、使用コンクリートの基本物性および管体の軸方向圧縮試験結果について報告する。

2. コンクリート

2.1 使用材料とコンクリートの配合

(1) 使用材料

早強セメントの物理的性質を表-1に示す。骨材の物理試験結果は表-2に示すとおりで、細骨材、粗骨材は、神奈川県山城町産の砕砂、砕石を用いた。

表-1 早強セメントの物理的性質

比 重	ブレン (cm ² /g)	凝結時間		圧縮強さ(kgf/cm ²)		
		始発(h-m)	終結(h-m)	3 日	7 日	28 日
3.15	4 250	2-10	3-12	123	355	475

また、コンクリート用化学混和剤は減水剤SP-X(ポリアミン酸化合物 (株)小野田社製)を用いた。

- * 1 ティビュー (株) 技術研究所研究員 (正会員)
- * 2 ティビュー (株) 横浜工場製造課 (正会員)
- * 3 秩父小野田 (株) 中央研究所建材研究所研究員
- * 4 同上

表-2 骨材の物理試験結果

骨材の種類	各ふるいを通過する重量百分率									表 乾 粗粒率 吸水率 比 重 (FM) (%)		
	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15			
細骨材	100	100	100	100	82	53	34	19	7	2.62	3.05	3.99
粗骨材	100	100	85	8	0	0	0	0	0	2.64	6.07	1.09

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、標準供試体の圧縮強度が目標強度の900kgf/cm²を満足し、かつ現行ヒューム管と同等の成形性を有することを前提として決定した。示方配合を表-3に示す。

表-3 示方配合

W/C	s/a	スランプ°	Air	単 位 量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	SP
28.7	40.0	3±1	2.0	128	470	729	1106	7.05

2. 2 養生方法

蒸気養生方法は、前置き時間を3時間とし、20℃/hrの勾配で40℃まで昇温させこれを2時間保持する。その後、同様の勾配で昇温を再び開始し、50℃に達したところで蒸気を停止する。蒸気養生温度を一旦40℃で保持するのは、この環境下においてコンクリートの熱膨張率が小さく、セメントの水和反応も効率的にすすむことによるもので、より緻密なコンクリートの製造ができるためである。[1]

これは、幾通りかの蒸気養生方法を

を設定し、それぞれについて圧縮試験を行った結果からも確認されている。また、マトリックスに早強セメントを用いたことで、それ自体の水和反応熱も加わり、蒸気養生の設定マチュリチーを約680℃・hrにまで低減できた。この蒸気養生サイクルと供試体内部温度の関係を図-1に示す。蒸気養生終了後は水中養生(20℃)を行った。

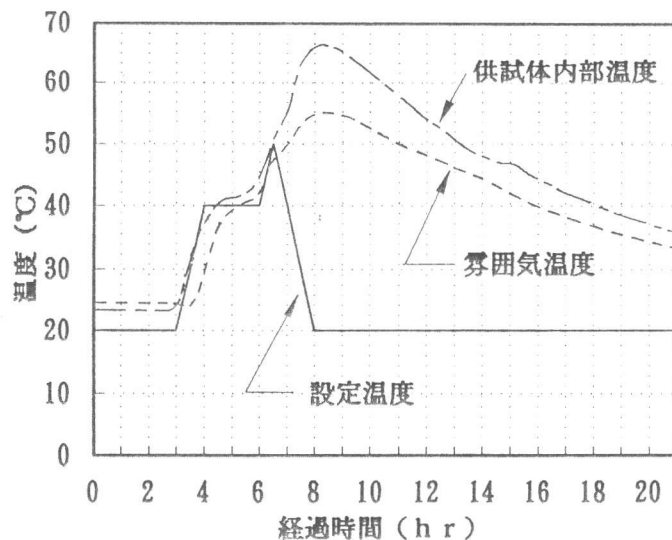


図-1 蒸気養生方法-供試体内部温度関係

2. 3 基本物性

(1) 物性試験項目および方法

フレッシュコンクリートの性状および硬化コンクリートの物性について試験を行った。スランプ試験はJIS A 1101、空気量試験はJIS A 1128に従い、硬化コンクリートの物性については、標準供試体(φ10×20cm)を用いて、圧縮強度、静弾性係数の測定を行った。

(2) 試験結果

フレッシュコンクリートの性状は、気温30℃、湿度60%の試験環境下において、混練り直後の

スランプが4.0cm、空気量が2.2%であった。30分後のスランプは2.0cm、空気量が2.0%であった。このことから、減水剤SP-Xを用いたコンクリートは夏場においてもスランプの低下が少なく、遠心力成形に必要な流動性を保つことが確認された。

表-4 各材齢における圧縮強度と静弾性係数

材齢 (日)	標準供試体 kgf/cm ²				静弾性係数kgf/cm ²	
	1	7	14	28	14	28
平均	713	837	916	970	4.2×10^5	4.4×10^5

標準供試体の圧縮強度は材齢28日において970kgf/cm²であり、強度がバラついていても目標強度を十分に満足することが確認された。標準供試体の各材齢における圧縮強度および静弾性係数を表-4に示す。

3. 900kgf/cm²推進管

3.1 遠心力成形と養生

回転する型枠内にコンクリートを投入し、これに振動をあたえ材料を一様に広げた後中速、高速へ移行した。成形方法を表-5に示す。また、蒸気養生方法は2.2養生方法と同様で管脱型後は大気自然養生を行った。

表-5 成形方法

	初速	中速	高速
遠心力	10g	20g	45g
時間	—	3分	12分

3.2 軸方向圧縮試験

(1) 試験方法

最大容量3000tf大型構造物試験機(日本大学理工学部)を使用して軸方向圧縮試験を行った。供試管は呼び径600の推進管(φ600×2430L-80t 材齢:28日)を2本用い、210tf/分の速度で破壊まで載荷した。このうちの1本は、図-2に示す通り繰返し載荷を行った。第1段階は目標強度の約1/3(300kgf/cm²)まで載荷し、荷重を取り除いた後、第2段階では管体の許容圧縮応力度を450kgf/cm²と想定して載荷を行った。第3段階は、この作業を100回繰返し、その後管体にクラック等の異常が無いことを目視確認のうえ破壊まで載荷した。ひずみゲージ貼付け位置を図-3に示す。

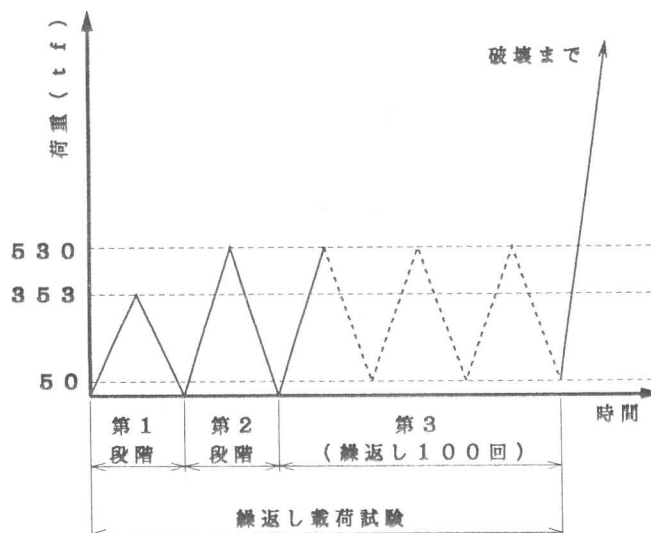


図-2 軸方向圧縮試験載荷方法

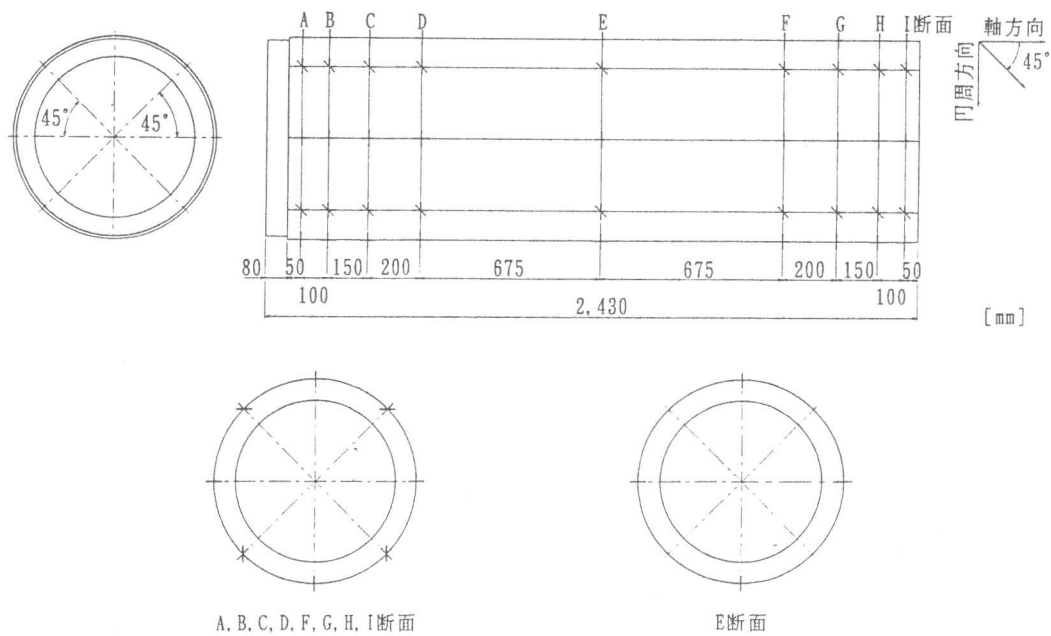


図-3 ひずみゲージ貼付け位置

(2) 試験結果および考察

単純荷重による軸方向圧縮試験の結果から、管体強度は942kgf/cm²であり目標強度を満足した。ここで、管体強度が同材齢における標準供試体の圧縮強度におよばなかったのは、荷重面に不均一な荷重がはたらき、管体に応力が集中したためと考えられる。また、この応力集中は管端部において最も顕著であり、管中央部に向かって分散する傾向にあることが確認された。破壊状況は、管端面から40cm付近の間で鉄筋配置位置より外周面のコンクリートが破損した。これは、螺筋が内側のコンクリートを拘束し、管外面に向かって膨張したためと考えられる。

表-6 各荷重方法における管体強度

供試管No.	荷重方法	有効断面積 cm ²	最大荷重 tf	管体強度 kgf/cm ²
①	単純	1 168	1 101	942
②	繰返し	1 178	1 100	933

※有効断面積：管端部における管の断面積

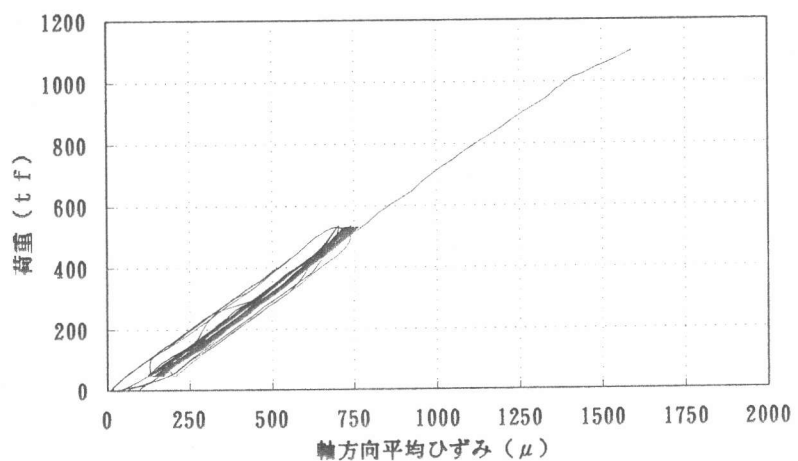


図-4 軸方向平均ひずみ履歴

繰返し荷重と管体に生じた軸方向平均ひずみの関係を図-4に示す。ひずみの履歴がほぼ直線的に推移していることから、管体は比例限界内の挙動であったものといえる。標準供試体およ

び供試管の応力とひずみの関係を図-5に示す。供試管に関して圧縮応力は繰返し载荷後の単純
 载荷荷重を断面積で除した値であり、ひずみはC断面に生じた軸方向ひずみ（8測点）を平均し
 た値を示したものである。標準供試体について曲線から求められる応力とひずみの関係を式（1）
 に示す。

$$\sigma_{TP} = 14.5 + 0.505 \times 10^6 \varepsilon - 6.97 \times 10^7 \varepsilon^2 + 4.02 \times 10^9 \varepsilon^3 \quad (1)$$

図-5の曲線から得られる1/3割線弾性係数を静弾性係数とすると、供試管の静弾性係数 E_P は
 $4.67 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であり、標準供試体の静弾性係数 E_{TP} は $4.4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ である。双方から、供試
 管の静弾性係数は標準供試体のそれと比較して若干ではあるが高い値を示しており、遠心力成形
 を行ったコンクリートは優れた強度特性を有することが確認された。

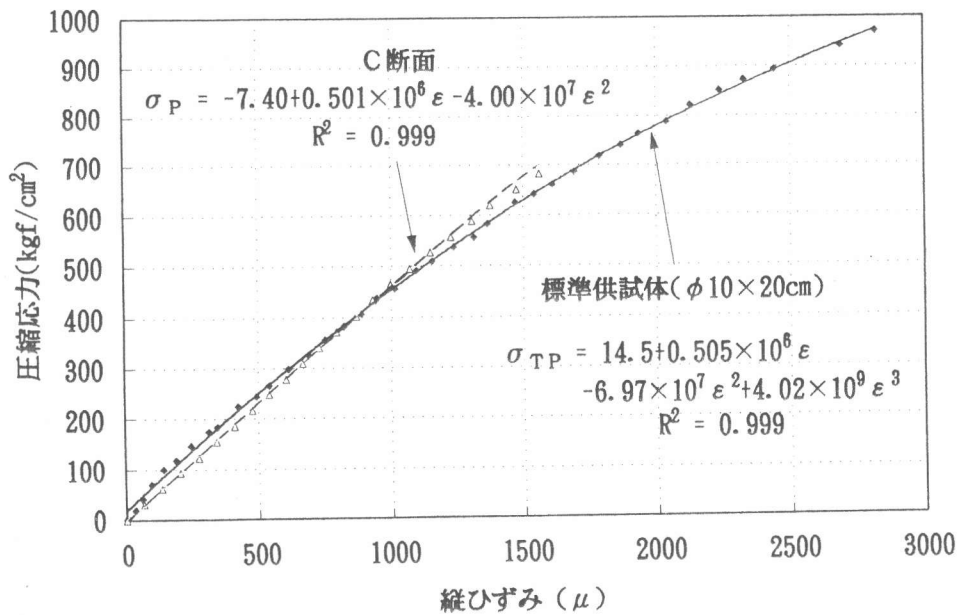


図-5 標準供試体および供試管の応力-ひずみ曲線

本実験による軸方向の最大ひずみ ε_{max} と平均ひずみ ε_{mean} の関係を式（2）に示す。また、
 従来の推進管について、過去の実験データから得られたコンクリートの応力とひずみの関係を式
 （3）に、軸方向の最大ひずみ ε_{max} と平均ひずみ ε_{mean} の関係を式（4）に示す。[2], [3]

$$\varepsilon_{max} = 5.06 \times 10^{-6} + 1.80 \varepsilon_{mean} \quad (2)$$

$$\sigma = 3.72 \times 10^5 \varepsilon + 0.611 \times 10^8 \varepsilon^2 - 6.32 \times 10^{10} \varepsilon^3 \quad (3)$$

$$\varepsilon_{max} = 19.1 \times 10^{-6} + 1.872 \varepsilon_{mean} \quad (4)$$

式（2）と式（4）の関係を図-6に示す。式（4）は、実際の施工時において管体に生じる応
 力集中をひずみの集中としてとらえているため、管端部断面に均一な荷重を载荷して求められた

式(2)との間には当然ながら大きな傾きの差が生じている。900kgf/cm²推進管、700kgf/cm²推進管とも、外力に対する応力集中の状況が大きく異なるとは考えにくいことから、双方の推進管について、式(1)、(4)および式(3)、(4)を用いて許容耐力力の計算を行った。その結果、900kgf/cm²推進管の許容耐力力は700kgf/cm²推進管の許容耐力力に対して1.36倍となり、長距離推進施工が可能であると判断する。

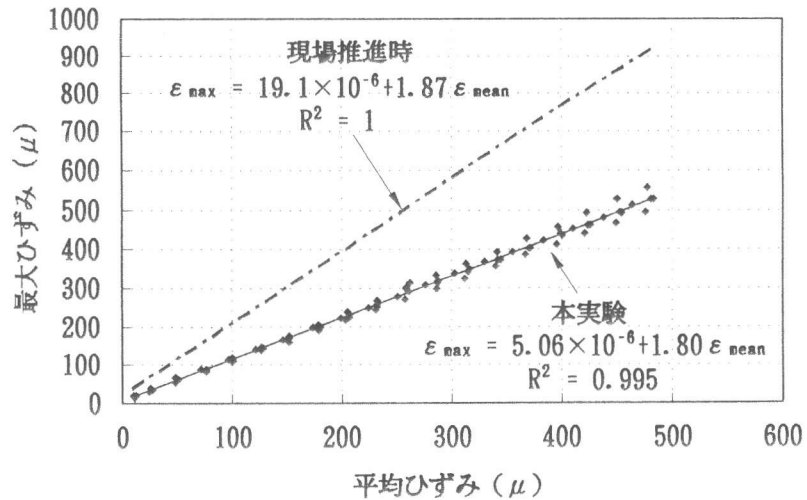


図-6 軸方向最大ひずみ-平均ひずみ関係

4. まとめ

本報告では、早強セメントと減水剤を用いたコンクリートの配合とその基本物性ならびに900kgf/cm²推進管の製造方法とその管体性能について述べてきた。以下に結果を要約する。

(1) 早強セメントと減水剤を用いた900kgf/cm²推進管の製造方法を確立し、軸方向圧縮試験の結果からその要求性能を満足することが確認できた。

(2) 本配合用の蒸気養生設定マチュリチーは、早強セメントを用いたことで現行の設定マチュリチー(1000°C・hr)と比較して約32%低減できた。

(3) 減水剤SP-Xを用いたコンクリートは、スランプロスが小さく、1年を通じて安定したコンシステンシーを得られることが確認された。

今後の研究展開として、集中荷重下での管の挙動や管の折れまげ耐力力を調べるなど、施工時にはたらく各種の荷重に対する検討を加える必要がある。

参考文献

- 1) ミノロフ・マニリナ：コンクリートの硬化促進、建設文献シリーズ〈1〉、1964
- 2) 全国ヒューム管協会技術委員会：ヒューム管設計施工要覧、全国ヒューム管協会、1993
- 3) 日本下水道協会：下水道管推進工法用鉄筋コンクリート管(JSWAS A-2)、1973