

[55] 多軸拘束を受ける膨張コンクリートの膨張性状

正会員 長滝重義 (東京工業大学工学部)

正会員○速藤達巳 (東京工業大学大学院)

河村彰男 (熊谷組)

1. まえがき

ケミカルプレストレスングを目的とした膨張コンクリートの実用は、ヒューム管などの工場製品で活発に行なわれている。またケミカルプレストレスング効果により、鉄筋コンクリート構造の力学的性状を著しく改善できることが報告されており導入されるケミカルプレストレスの推定法も辻¹⁾によって確立されつつある。しかし、構造形式によっては、膨張コンクリートが従来考えられてきた1軸拘束ではなく、明らかに多軸拘束を受ける場合が考えられ、膨張コンクリートによるケミカルプレストレスングをさらに広範囲の構造に適用するには多軸拘束を受ける膨張コンクリートの膨張性状を明らかにしておく必要がある。

本研究では、内圧トンネルライニング、鋼・コンクリート複合管への膨張コンクリートの適用を想定し、環状拘束を受ける膨張コンクリートの膨張性状を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

- (1) 使用材料 セメント：普通ポルトランドセメント，膨張材：カルシウムサルホアルミネート系膨張材，細骨材：富士川産川砂（比重2.62），粗骨材：西多摩産砕石（比重2.62，最大寸法15mm），減水剤：リグニンスルホン酸塩系減水剤，鉄管：材質はSS41（ロール加工），鉄筋：異形鉄筋D10（材質SD35）
- (2) 配合及び養生 配合は単位セメント量360Kg/m³，単位膨張材量60Kg/m³，水結合材比43%，スランプ8±1cmとした。養生は材令18時間まで湿布養生とし，その後水中養生（20℃）とした。
- (3) 試験体 形状は円柱及び円筒形の2種類であり，環状拘束として鉄管を採用し，その中に膨張コンクリートを打設し等方多軸拘束状態を作ることにより，多軸拘束を受ける膨張コンクリートの膨張性状を検討した（ケース(I)）。また鉄管に膨張コンクリートをライニングし，内部拘束体として環状鉄筋を配置することによる影響（ケース(II)），さらに管長方向の拘束を配筋及び管長の増加により高めた影響（ケース(III)）についても検討を加えた。鉄管板(t)は3種類，鉄筋半径は3種類鉄管半径は2種類用いた。各試験体の形状及び仕様は図-1，表-1に示すとおりである。

表-1 試験体仕様

ケース (I)	使用鉄管 $r_t \cdot h \cdot t$
I-1	150×100×1.2
I-2	150×100×2.2
I-3	150×100×3.2
I-4	250×100×1.2
I-5	250×100×2.2
I-6	250×100×3.2

ケース (II)	環状鉄筋 r_s 本数	使用鉄管 $r_t \cdot h \cdot t$
II-1	210×2	250×100×1.2
II-2	210×2	250×100×2.2
II-3	210×2	250×100×3.2
II-4	—	250×100×1.2
II-5	190×2	250×100×1.2
II-6	210×1	250×100×1.2
II-7	210×3	250×100×1.2
II-8	230×2	250×100×1.2
II-9	—	250×100×3.2
II-10	190×2	250×100×3.2
II-11	210×1	250×100×3.2
II-12	210×3	250×100×3.2
II-13	230×2	250×100×3.2

(mm)

ケース(III)	使用鉄管 $r_t \cdot h \cdot t$	環状鉄筋 r_s 本数	軸鉄筋 h 本数
III-1	250×500×1.2	190×9	500×8
III-2	250×500×1.2	210×9	500×8
III-3	250×500×1.2	230×9	500×8
III-4	250×500×2.2	210×9	500×8
III-5	250×500×3.2	190×9	500×8
III-6	250×500×3.2	210×9	500×8
III-7	250×500×3.2	230×9	500×8

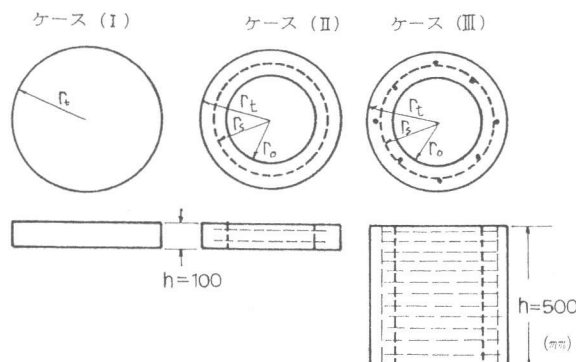


図-1 試験体形状

(4) 試験方法 鉄管及び鉄筋の歪測定は電気抵抗法を用い、鉄筋は2点、鉄管は一水平断面について4点(2方向)の歪を測定した。

3. 実験結果及び考察

(1) ケース(I)の結果及び考察 図-2に鉄管の各方向歪及び1軸標準供試体の膨張歪の経時変化を示した。円周方向歪($\epsilon_{t\theta}$)に関しては、1軸標準供試体とほぼ同様の傾向を示している。管長方向歪(ϵ_{tx})は収縮側にあり、円周方向歪の値と比較することで、鉄管はコンクリートの管長方向には拘束をなしてないことが示されている。このことより、ケース(I)では円周方向、半径方向の2軸拘束のみ存在していると考えられる。

ここでコンクリート内の円周・半径方向歪($\epsilon_\theta, \epsilon_r$)は鉄管の円周方向歪($\epsilon_{t\theta}$)と相等しくなる。また管長方向は自由膨張をしていると考えると導入されるケミカルプレストレス量(σ_{cp})も、鉄管がコンクリートに及ぼす膨張圧(σ_{tr})に等しくなる。 σ_{cp} は

$$\sigma_{cp} = \sigma_{tr} = \frac{1}{r_1} \sigma_{t\theta} = \frac{1}{r_1} \frac{E_s}{1-\mu_s^2} (\epsilon_{t\theta} + \mu_s \epsilon_{tx}) \text{ となる。}$$

($E_s: \mu_s$; 鉄管の弾性係数, ポアソン比)

また、単位体積当りのコンクリートが、外部になした仕事量(U_2)は

$$U_2 = \frac{1}{2} \times \sigma_\theta \times \epsilon_\theta + \frac{1}{2} \times \sigma_r \times \epsilon_r = \sigma_{cp} \times \epsilon_{t\theta} \text{ となる。}$$

図-3に各試験体について拘束度の大きさ(板厚/半径)を横軸にとって U_2 を示した。各方向独立していれば、1軸拘束に於ける仕事量(U_1)の2倍(図中1点鎖線)となるはずであるが、幾分小さ目となっており、(t/r)の増加に伴って仕事量も大きくなっている傾向が見られる。すなわち、多軸拘束状態、

言い換えれば側方応力が存在する時は、任意の方向のコンクリートがなした仕事量は1軸拘束の場合に比べ小さくになると考えられる。

(2) ケース(II), (III)の結果及び考察 図-4, 図-5にケース(II), (III)の各歪経時変化の代表例を示した。両者において、膨張歪の収束時期に着目すると、ケース(II)では材令2日であるのに比べ、ケース(III)においては、1日で歪の増加はほとんどなくなっている。ケース(III)はケース(I)と同様に管長方向の影響はないものと考えられるため、上記の差は管長方向拘束の存在に起因すると思われる。

次にケース(II), (III)に於いては、鉄管の板厚, 鉄筋量, 鉄筋の位置を変化させており、それらの影響について考察を加える。

i) 鉄管板厚の影響 図-6は他の要因を一定とした場合の各歪及びコンクリート内縁の円周方向ケミカルプレストレスの計算値を示したものである。鉄筋, 鉄管とも円周方向歪は板厚の増加に伴って同様の傾向で減少して

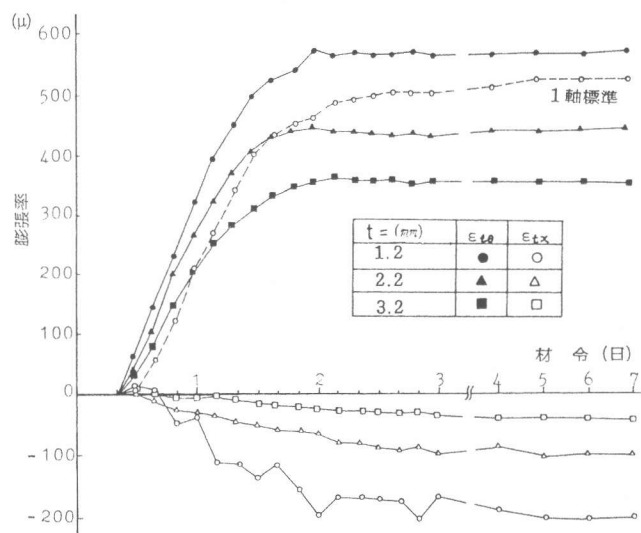


図-2 ケース(I)の管内歪の経時変化

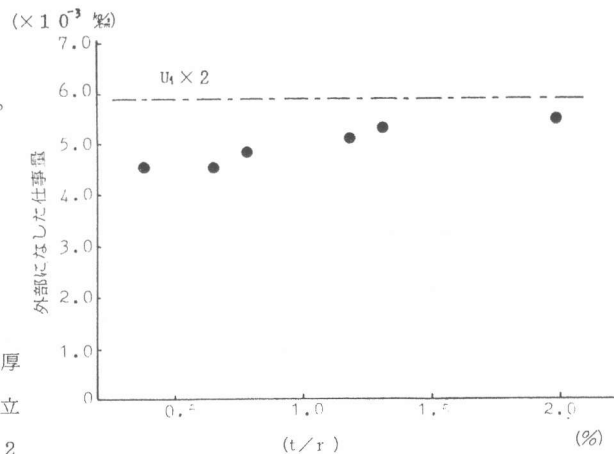


図-3 ケース(II)の外部になした仕事量

いる。それに比べ管長方向歪は変化がないようである。またケミカルプレストレスは、ケース(I)と同様に板厚(すなわち拘束度)が増えれば大きくなっている。

ii) 環状鉄筋位置の影響 代表例を図-7に示した。環状鉄筋の位置が変化しても、鉄管の歪にはほとんど影響を与えず、鉄筋の歪は外側に配置されるほど、鉄筋歪に近い値となっていく。これは円周方向歪が、鉄管厚により一義的に定められることを示している。しかし、ケミカルプレストレスは鉄筋が加える力が大きいほど、すなわち鉄筋が外側に配置されるほど、大きくなっている。

iii) 環状鉄筋量の影響 図-8に環状鉄筋の鋼材比をパラメータにして膨張歪及びケミカルプレストレスを示した。板厚 $t = 1.2 \text{ mm}$ の低鉄筋比のところ、すなわち全体の拘束度が小さいところで、鉄管・鉄筋歪が大きくなっており、鉄筋の影響が見られるが、その他のところでは、ほとんど鉄筋量は膨張性状に影響を与えないと考えられる。また、前記したように歪値が同じであっても、鉄筋量が大きければ、それが加える力と伴にケミカルプレストレスも大きくなっていくのである。

以上のことより、変位に対する影響は鉄管の方が卓越しており、ケミカルプレストレスに関し(μ)ては鉄筋の量及び位置も考慮しなければならず、これらのことはケース(III)、(IV)でほとんど同様に云えることが明らかとなった。

(3) 環状多軸拘束膨張性状の推定

ケース(III)について、「仕事量の概念」を多軸拘束に拡張することによって、1軸標準供試体の膨張歪(仕事量)より、鉄管・鉄筋歪及び導入ケミカルプレストレス量を推定しようとするものである。ケース(III)については管長方向応力(σ_x)=0と考えられるので、円周

及び半径方向応力を σ_θ, σ_r 膨張歪を $\epsilon_\theta, \epsilon_r$ 、仕事量を U_θ, U_r とすると

$$U_\theta = \frac{1}{2} \cdot \sigma_\theta \cdot \epsilon_\theta$$

$$U_r = \frac{1}{2} \cdot \sigma_r \cdot \epsilon_r \quad \text{となる。}$$

またこの U_θ, U_r は相互の方向の応力の関数として、次式で表した、

$$U_\theta = 4 U_1 / (2 + \mu \frac{\sigma_r}{\sigma_\theta})^2$$

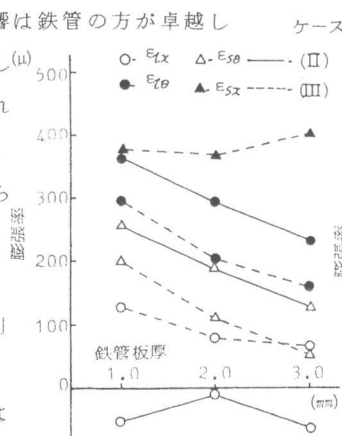


図-6 管板厚の影響

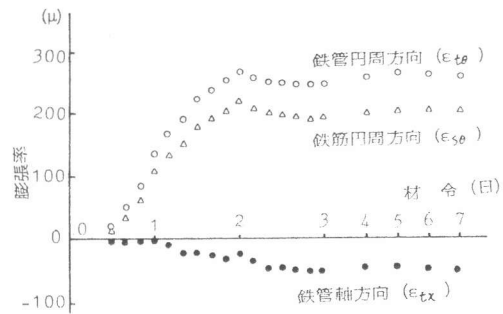


図-4 ケース(III)の経時変化例

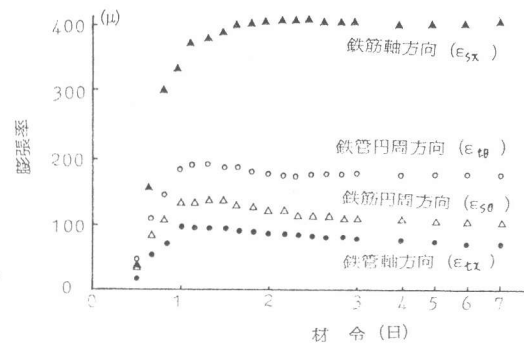


図-5 ケース(IV)の経時変化例

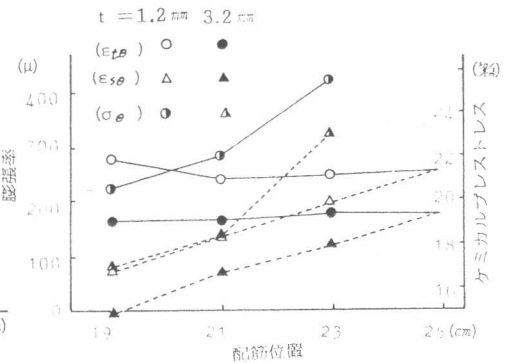


図-7 配筋位置の影響

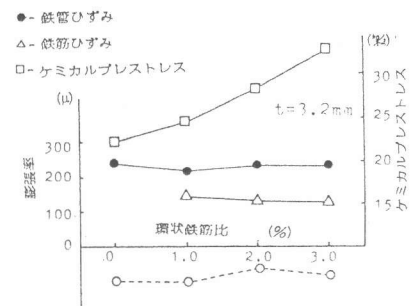
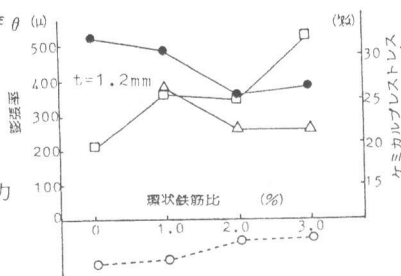


図-8 環状鉄筋比による影響

$U_r = 4 U_1 / (2 + \mu \sigma_\theta / \sigma_r)^2$ (μ : コンクリートのポアソン比に準ずるもので、 $\mu \div 0.17$ とした)。この式は膨張歪と(ϵ_{ex})とケミカルプレストレスの関係がある範囲では $\epsilon_{ex} = \epsilon_0 - \lambda \sigma_{cp}$ と表すことができ、側方の影響を加味することにより膨張歪(ϵ_{ex}')は

$\epsilon_{ex}' = \epsilon_0 - \lambda (1 + \mu) \sigma_{cp}'$ となることを基本とし、1軸における「仕事量の概念」を勘案することにより理論的に求めた式である。

また、軸対称構造においては、A, Bを定数とすると、 $\sigma_r = A + B/r^2$, $\sigma_\theta = A - B/r^2$ と表せ、力の釣合条件、歪の適合条件を勘案することにより、膨張分布、ケミカルプレストレス分布、鉄管円周方向歪、鉄筋歪を1軸標準供試体の仕事量より推定できる。この推定法により求めた円周方向歪、及びケミカルプレストレス分布の例を図9に示す。中央部で多少変曲しているのは、鉄筋の内外で異なる系として計算したからである。各試験体についての推定値

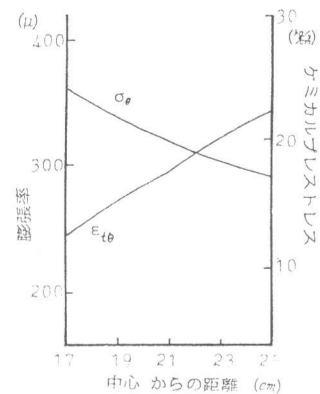


図-9 推定した歪分布及びケミカルプレストレス

と実測値の比較を鉄

管歪($\epsilon_{t\theta}$), 鉄筋歪($\epsilon_{s\theta}$), 及び内縁での $\sigma_\theta \cdot r - r_0$ について図-10に示した。

$\epsilon_{s\theta}$ については幾分過大に $\epsilon_{t\theta}$ は過少に推定している。これは先に述べた様に、

鉄管と鉄筋の拘束効

果の相違によるものであり、推定値が鉄筋の拘束効果を過大に評価しているからだと思われる。 σ_θ については、良い精度で推定できており本推定法の妥当性が確認できた。

図-11にはケース(II), (III)の円周・半径方向にした仕事量を示した。ケース(III)はケース(II)に比べ小さくなっており、これは管長方向の応力の存在によって仕事量が減少したことを示している。すなわちケース(III)において、この減少率が定量的に把握できれば、上記した方法で、同様に円周・半径方向について膨張性状、ケミカルプレストレスの推定が可能となる。

4. まとめ

多軸拘束下におかれた膨張コンクリートの膨張は1軸拘束に比べ早い時期に収束する。環状拘束を受けた場合、鉄管と鉄筋による環状拘束効果は異っており、鉄管の拘束効果が卓越していると考えられる。また多軸拘束を受けるコンクリートの膨張性状を、単純に1軸拘束膨張の拡張と考えることには、問題があることを示すとともに、1軸拘束における「仕事量の概念」の多軸に拡張することで、環状拘束膨張性状を推定できることを示した。

<参考文献>

- 1) 辻 幸和「コンクリートにおけるケミカルプレストレス利用に関する基礎研究」土木学会論文報告集3月(1975)

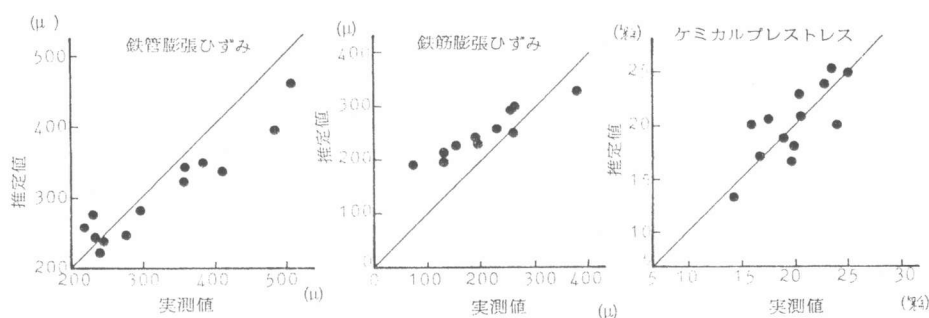


図-10 推定値と実測値の比較

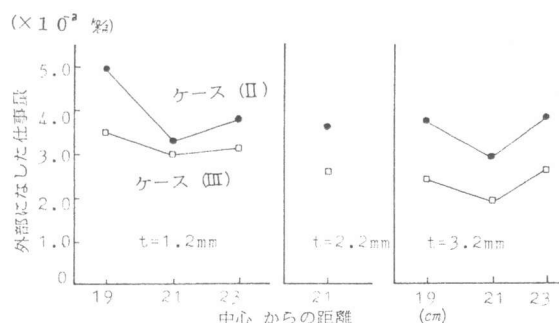


図-11 ケース(II), (III)の仕事量の比較