

1. まえがき

膨張コンクリートと鉄筋との複合作用の結果コンクリートに導入されるケミカルプレストレスを推定できるようにすること、膨張コンクリート部材の設計に重要なことである。基礎的な実験として鉄筋コンクリート部材を二次元にモデル化し、供試体について、ケミカルプレストレスの推定方法を検討した。そして膨張コンクリートが乾燥収縮した場合のケミカルプレストレスの効果を丁形はりで試験した。次にケミカルプレストレスの利用方法としてねじり抵抗に関する効果を検討した。本研究について終始御指導をいただき、京都大学 村田二郎教授に感謝するとともに、昭和48年度吉田研究奨励金を授けられたことを付記し謝意を表します。

2. ケミカルプレストレスの推定

(1) 推定の方法 膨張コンクリートがその内部に配置された鉄筋の付着応力によって拘束される場合には、ケミカルプレストレスは断面にわたって一様な分布とはならない。このような鉄筋コンクリート部材のケミカルプレストレスの分布を、一軸拘束された膨張量管理供試体の膨張性状を基として次の三つの仮定によって解析した。1. 同一配合および同一養生条件のもとでのコンクリートの膨張は、作用しているケミカルプレストレスとこれに抗して膨張しようとする変形量との積 K は一定である。2. 鉄筋から離れた位置におけるコンクリートの拘束は、鉄筋の拘束力とコンクリートのせん断剛性によって伝達される。3. 鉄筋の拘束量と鉄筋に接するコンクリートの拘束膨張量は等しい。

解析手順および解析モデルを図1, 2に示す。

(2) 実験方法 供試体は鉄筋コンクリート部材を二次元に理想化し、膨張量測定が簡単となるようにした。鉄筋の付着拘束の特性を考慮して、膨張量の測定は測長を全長600mmの中央部200mmにとりコンタクトゲージと鉄筋中央部に貼付したワイヤーストレインゲージを使用した。供試体の配筋は軸線中央に一本としたものと、中央より70mmの対称位置に異なる鉄筋径のものを組合せて配置したものについて試験した。使用した鉄筋の径はD10, 13, 16および19である。解析における入力データとなる膨張性状を示す K は鉄筋比0.95%の一軸拘束供試体(10×10×30cm, マイラゲージ法)から求めた。コンクリートの弾性定数は所定材料で型枠拘束されたφ10×20cmの円柱供試体からえられる値を使用した。これらの結果を図3に示す。

(3) 結果 図4はD13とD16とを使用したときの膨張量の測定値と計算値とを比較したものである。供試体の中央部は拘束度が低下するためにコンクリートの膨張量が大きくなることわかる。この供試体の膨張量計算値と鉄筋の拘束量と比較すると、D16では測定値の95%, D13では77% となっている。供試体の中心軸にD19一本を配

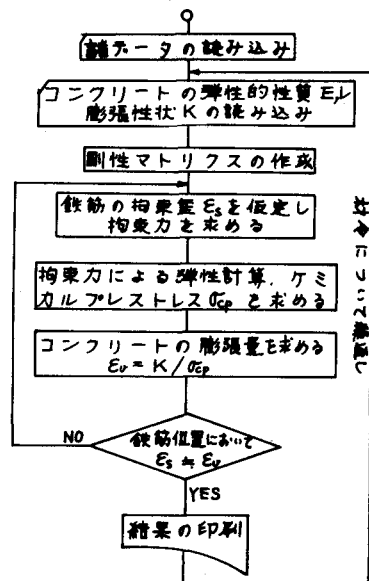


図1 フローチャート

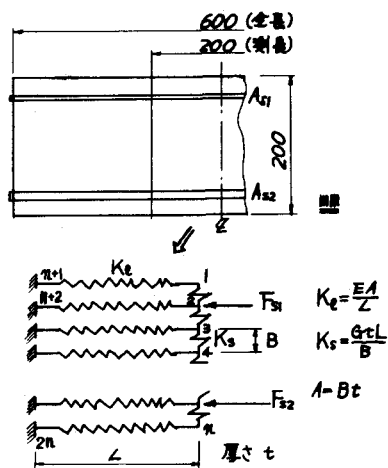


図2 供試体とそのモデル化

置したものは9%であった。一般に鉄筋量が小さいところでは計算値が実測値より低下する傾向があらわれた。これはコンクリートの膨張性状を示すKや解析方法に弾性歪やフリース歪等が考慮されていないためと考えられる。図5は鉄筋の配置方法がケミカルレストレスにおよぼす影響を計算した例である。D10とD19を両側に配置したときは、それぞれの鉄筋が単独でその位置に配置されているときよりも大きなケミカルレストレスが導入される。

3. 長期安定性

膨張コンクリートが長期にわたって乾燥をうける場合のケミカルレストレスの効果をT形はりの曲げ試験によって検討した。

(1) 実験方法 はりは全長210cm、スパン190cmであり中央部60cmの区間で二点載荷とした。断面は突部幅20cm、厚さ5cm、腹部幅10cm、有効高さ17cmとなっている。配筋は引張鉄筋D19（ $P=0.84\%$ ）、圧縮鉄筋2D10（ $P'=0.42\%$ ）とレオ6のスターラップをせん断区間に10cm間隔に配置した。コンクリートの配合は表1に示すとおりであり、10日間の湿和養生後所定材令まで室内に放置した。放置期間中の湿度は67～88%で年平均78%であった。

(2) 結果 試験したはりと同時に作製した強度試験供試体は試験材令まで型枠拘束のままはり供試体と同じように放置した。この圧縮強度は普通コンクリートでは材令1ヶ月に比較して1年では 14 kg/cm^2 の低下がみられるが、膨張コンクリートでは増大の傾向がある。試験したはりの側面で測定された乾燥収縮は材令3ヶ月でほぼ定常状態となり、普通および膨張コンクリートともに $40\sim50\times10^{-5}$ に達した。材令1年では普通コンクリートはりの側面にわずかの乾燥収縮ひびわれが観察されたが膨張コンクリートには発見されなかった。これらのはりの曲げひびわれモーメントは図6に示るように膨張コンクリートは普通コンクリートの約1.6倍で全材令について変化がなかった。これはケミカルレストレスとして $20\sim30\text{ kg/cm}^2$ が導入されていたことに相当し、材令1年後にも十分ケミカルレストレスが存在していることが確認された。ひびわれ幅およびたわみともに膨張コンクリート部材は普通コン

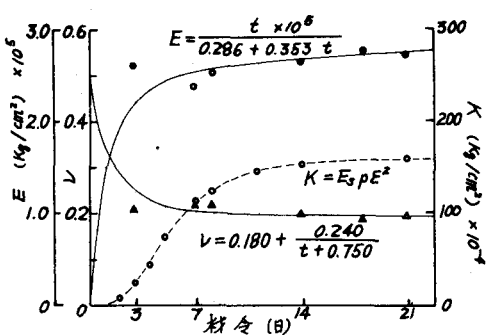


図3 コンクリートの弾性定数と膨張性状

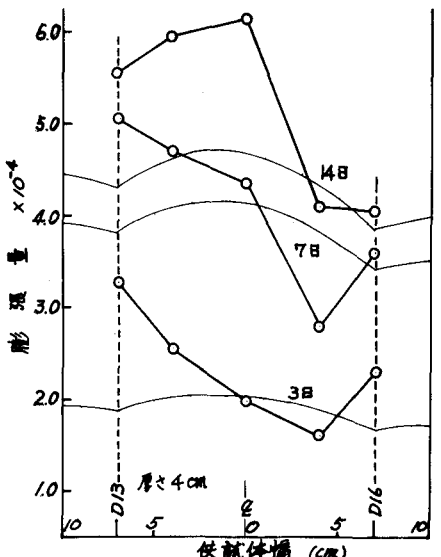


図4 拘束膨張量の計算値と実測値

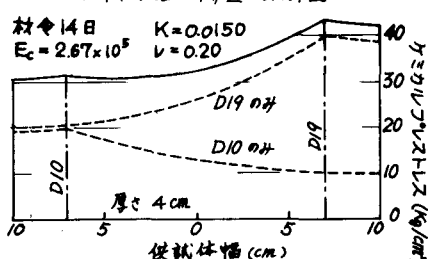


図5 ケミカルレストレスの鉄筋配置による影響

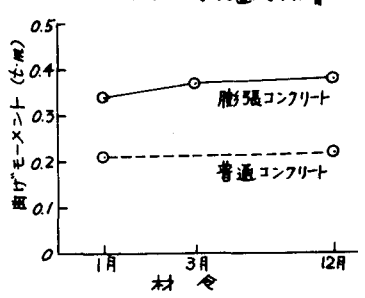


図6 ひびわれモーメント

表2 コンクリートの強度

	材令 (日)	圧縮強度 (kg/cm²)	引張強度 (kg/cm²)
普通コンクリート	12	384	30.3
	12	370	27.2
膨張コンクリート	1	299	25.3
	3	368	31.8
	12	427	27.8

表1 はりに使用したコンクリートの配合

W/C	W	C	CSA	S/a	S	G	SLump
%	kg	kg	kg	%	kg	kg	cm
45	158	301	50	43	809	1089	40±2.5

フリートより小さい傾向がある。

4. ねじり抵抗

鉄筋コンクリート部材のねじり抵抗はコンクリートの引張強度に支配され、非常に小さいものである。 そのため部材にケミカルプレストレスを導入して耐力を増大させることは膨張コンクリートの有効な利用方法と考えられる。 本実験ではパイルベント構造のねじりに対する安全性の確保とPCパイルのねじり荷入工法を想定して実験をおこなった。

(1) 実験方法 モルタルを使用した外径100mmの小型供試体と、遠心力締固め・蒸気養生された外径300mmのくいの試験体を作製した。 小型供試体は外径300mmのくいの1/3の断面寸法となっており、試験材を4週まで湿潤養生されている。 実くいの試験体は蒸気養生後2週まで水中養生し材を3週でねじり試験をおこなった。 これらの供試体のケミカルプレストレスを推定するため同一養生された一朝拘束の膨張量管理供試体を作製した。 使用した膨張材は石灰系膨張材小野田エクスパンである。 実くいの供試体の配合は工場製品に使用されている品質を参考にし、水セメント比0.37, 単位セメント量420kg, 膨張材はセメント量の肉割で42kg使用した。

(2) 結果 表3に示すようにらせん鉄筋量の増大にしたがって膨張コンクリート部材のひびわれ強度は増大している。 シリーズAではらせん鉄筋を直巻きとして10mm間隔のもので $9.19 \times 10^3 \text{ kg/cm}$, 45°方向に配置して間隔を19.3mmとしたもので $11.24 \times 10^3 \text{ kg/cm}$ がえられた。 シリーズBでは膨張コンクリート部材で最大1.66t/mである。 膨張コンクリート部材のひびわれ強度はシリーズAで普通コンクリートの1.8～2.2倍, シリーズBで1.6倍のねじりに対する効果が認められた。 膨張量管理供試体からえられた試験材令時におけるK値は図7中に示すようであり、これからケミカルプレストレスを推定した。 管理供試体と試験体では拘束方法が異っているが、試験体の軸方向鉄筋比およびらせん鉄筋比を45°方向に換算した鉄筋比で推定計算をおこなった。 この鉄筋比を横軸として図7に推定値とひびわれ時のせん断耐力を示した。 シリーズBでは45°方向にE41.42で 14.1 kg/cm^2 , E31.32で 12.1 kg/cm^2 のケミカルプレストレスが計算される。 これと普通コンクリート部材のひびわれ発生時の材料引張耐力 21.6 kg/cm^2 と重ね合わせると、膨張コンクリート部材のひびわれ発生時の耐力に近似していることが分る。 シリーズAでは鉄筋比の小さいところでコンクリートの品質の劣化のためねじり強度が低下しているものと思われる。 Cowanと同じように純ねじりをうける部材のひびわれが最大主応力説にしたがうとすると次式がえられる。

$$M_{tpe} = M_{tcc} \sqrt{1 + \frac{\sigma_{cpv} + \sigma_{cpe}}{\sigma_{ct}} + \frac{\sigma_{cpv} \cdot \sigma_{cpe}}{\sigma_{ct}^2}} \quad \begin{cases} \sigma_{cpv}, \sigma_{cpe} : \text{円周方向, 軸方向プレストレス} \\ \sigma_{ct} : \text{コンクリートの引張強度} \\ M_{tcc}, M_{tpe} : \text{無筋, プレストレストコンクリートのひびわれ強度} \end{cases}$$

機械的プレストレスとして 47 kg/cm^2 導入した部材のねじり強度を本式で推定すると実験値の0.98となる。 膨張コンクリートの二方向のケミカルプレストレスを明確にすれば本式によってひびわれ強度が推定できると思われる。 そして機械的プレストレスと膨張コンクリートとの併用によってさらにねじり強度の増大が期待できる。

参考文献：村田・国府・奥山：「ねじり抵抗くいの研究」 第29回セメント技術大会 講演要旨

表3 ねじり試験結果

試験体	部材	スパン (mm)	せん断鉄筋比 (%)	ひびわれ発生時のせん断耐力 (kg/cm)	ひびわれ発生時のせん断耐力 (kg/cm)	引張強度 (kg/cm ²)	備考
(A) 普通モルタル	N011	1.8-10	1.37	5.601×10^3	4.601	564	普通モルタル
	E111	1.8-10	1.37	9.60	9.19		
	E121	1.8-20	0.68	7.12	6.86		
	E131	1.8-30	0.46	6.24	5.88	455	膨張モルタル
	E121-3	1.8-19.3	1.00	11.24			
	E121-45	1.8-19.3	1.00	11.24			
(B) 膨張コンクリート	N31	3-30	0.41	1.03×10^4	0.97	578	普通モルタル
	E31	3-30	0.41	1.67	1.44		
	E41	4-30	0.73	1.71	1.66	526	膨張コンクリート
	B101	3-100	0.12	3.33	3.27		
	B31	3-100	0.12	3.63	3.47	632	普通モルタル
	B32	4-30	0.73	3.47		48.8	JIS A 8335 A種

圧縮強度 {シリーズA $\phi 10 \times 20$ 膨張量管理供試体
シリーズB $\phi 20 \times 30 \times 40$ 蒸気養生供試体
引張強度 {シリーズA $\phi 15 \times 16$
シリーズB $\phi 20 \times 30 \times 40$

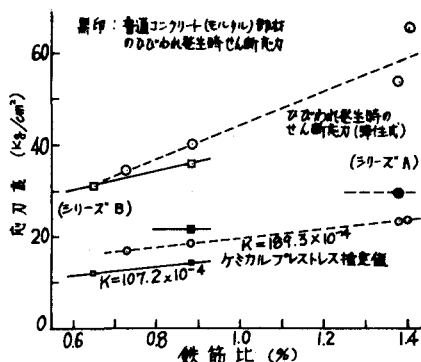


図7 ひびわれ強度とケミカルプレストレス計算値