

内的および外の一軸拘束を受ける膨張コンクリートの膨張特性

UNIAXIAL EXPANSIONS IN INTERNALLY AND EXTERNALLY RESTRAINED EXPANSIVE CONCRETE

辻 幸和*

By Yukikazu TSUJI

In internally restrained specimens, strains of a restraining bar increased from the end of the specimen, but at the points more than two times of the width apart from the end face, the strains were almost constant. The strains of concrete showed the inverse inclination of ones of the bar. An arrangement of transverse reinforcing bars decrease these phenomena. In externally restrained specimens, transverse expansive strains decreased near the end face of the specimen due to a restraint between end plate and expansive concrete. As for a longitudinal strains on the surface of concrete obtained by a contact type strain-gauge, the value near the end plate was larger than the value of mid part of the specimen which was free from the restraint between end plate and concrete.

Keywords : expansive concrete, uniaxial expansion, expansive strain, internal restraint, external restraint

1. まえがき

膨張コンクリートの研究および開発の端緒より、試験が簡単なことから、一軸方向にのみ拘束する一軸拘束方法が多く採用されている。一軸拘束方法は、内的拘束方法、外的拘束方法および両方法を併用した方法に分けることができる。

内的一軸拘束方法は、膨張コンクリート中に埋込んだ拘束鋼材とコンクリートとの付着により膨張力を拘束する方法である。この方法では、コンクリートの膨張力を拘束鋼材との付着によりどの程度拘束できるかという点が重要である。

外的一軸拘束方法は、膨張コンクリートの両端面に配置した端板でいったんコンクリートの膨張力を受け止めた後、端板と結合している拘束鋼材により膨張力を長さ方向に拘束する方法である。拘束鋼材はシース等を介してコンクリートの内部に配置される場合と外部に配置される場合がある。

これら内のおよび外の一軸拘束方法による研究結果はこれまでにも数多く報告されているが^{1)~6)}、各拘束方法はそれぞれ特徴をもっており、これらの特徴を十分に考

慮した実験結果は少ない。特に、内的拘束におけるコンクリートと拘束鋼材の付着作用、および外的拘束における端板による拘束直角方向の拘束作用については、これまで十分な検討がなされていない。本研究は、これらの問題の解明のために行った実験結果を報告するものである。

2. 内的一軸拘束状態における膨張特性

断面が 15×15 cm、その断面図心に呼び名が D 19 mm の異形鉄筋を 1 本配置した長さが 50 cm と 150 cm の内的一軸拘束状態における膨張コンクリートの膨張分布を図-1 に示す。鉄筋の膨張ひずみは、コンクリートと鉄筋の付着を阻害しないように、半割りに切断してみぞ切り加工を施した鉄筋の内部にワイヤストレインゲージを貼った後切断面を接着剤で貼り合わせて一体とした鉄筋を用いて求めたもので、打込み時を基点としている。コンクリート表面の膨張率は材令 1 日を基点とし、ゲージ長が 6 cm のコンタクト型ひずみ計により求めた。

コンクリートとの付着により鉄筋は伸び、その膨張率は付着力の増加とともに端面から離れるほど大きくなっている。コンクリート表面の膨張率は逆に、端面から離れるほど鉄筋の拘束が大きくなるため、小さくなっている。そして、鉄筋の膨張率は、端面からある距離以上離

* 正会員 工博 群馬大学助教授 工学部建設工学科
(〒376 桐生市天神町1-5-1)

れるとほぼ一定の値を示している。なお、端面から 2.5 cm の間の平均付着応力度は約 40 kgf/cm² であるが、端面から離れるに従って付着応力度は減少し、約 15 cm 離れたところでは約 7 kgf/cm² を示した。

拘束方向の膨張率が一定となる端面からの距離は、断面の形状寸法、鉄筋の種類と配置方法および膨張コンクリートの力学的特性など、コンクリートと拘束鋼材の付着特性に影響を及ぼす要因、ならびに膨張エネルギー等により当然異なる。図-1 では、鉄筋の膨張率の場合は約 50 cm となっているが、コンクリート表面の膨張率の場合は、端面から 75 cm 離れたところでも一定にはなっていない。

鉄筋による内的一軸拘束を受けるはり供試体におけるコンクリート表面の拘束方向膨張率の分布を図-2 に示す。幅が 10 cm、高さが 40 cm の矩形断面に、呼び名が D 16 mm の異形鉄筋 4 本を断面に対称に配置している。コンクリート表面の膨張率は、ゲージ長が 20 cm のコンタクト型ひずみ計により測定した。供試体の長さは 270 cm であって、端面から膨張率の測定範囲の中央位置までの距離を基準にし、拘束方向の膨張率がはり高さ方向と拘束方向の軸方向にどのように分布するかを示している。

供試体端面に近い断面では、鉄筋位置から離れるに従ってコンクリートの拘束方向膨張率は大きくなっている。鉄筋との付着による拘束作用が小さくなるためである。そして、材令 7 日においては、端面から 50 cm 程度離れると、断面内の膨張率はほぼ一様と考えてよいことが認められる。しかしながら、材令が経過して 28 日

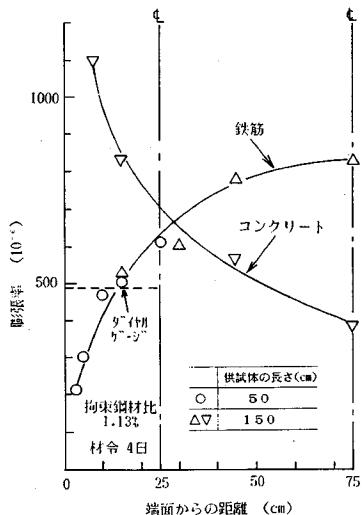


図-1 鉄筋およびコンクリートの拘束方向の膨張分布

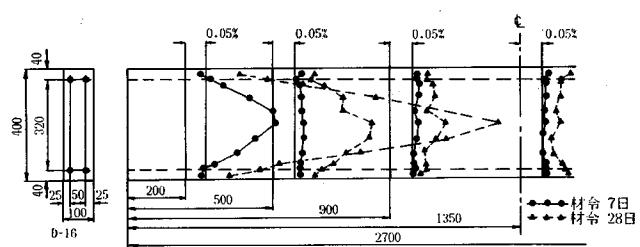


図-2 コンクリートの拘束方向の膨張分布

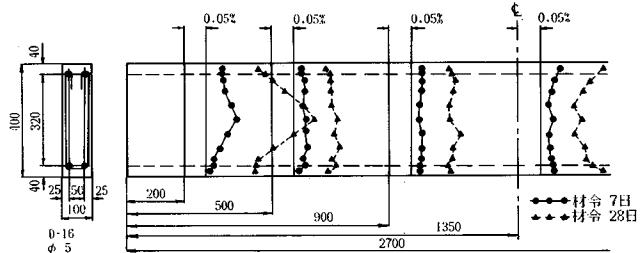


図-3 コンクリートの拘束方向の膨張分布（スターラップを配置）

の場合には、端面から 50 cm の位置では、鉄筋位置から離れるに従ってコンクリートの膨張率は大きくなっている。断面内の拘束方向の膨張率が一様となる端面からの距離は、材令が経過するほど大きくなっている。

鉄筋などの拘束鋼材との付着による拘束作用を期待する内的一軸拘束方法では、付着による拘束が十分に期待できない供試体端面近傍が存在するため、図-1 および図-2 に示したように、拘束鋼材およびコンクリートの拘束方向の膨張率が、拘束方向の軸方向に、あるいは軸直角方向に分布することが確かめられた。なお、拘束鋼材を、軸方向のみに配置するだけでなく、これに直角方向にも配置すると、この方向の拘束作用により、軸方向のコンクリートの膨張分布が緩和される。図-3 は、図-2 の場合に、φ 5 mm のスターラップを 10 cm ピッチで配置した場合である。材令 28 日においても、端面から 50 cm の位置のコンクリートの拘束方向膨張率は、断面高さの各位置でほぼ等しい値となっている。

内的一軸拘束状態を探る場合には、断面寸法に比べて長さが短いと、図-1 および図-2 における端面近傍の拘束が十分でない影響が大きく現われる。図-4 は、断面形状寸法が図-1 と同じで、長さが 50 cm の供試体の両端面間の伸びを、ダイヤルゲージで測定し、長さ方向の平均の膨張率に直して表示したものである。長さ方向の膨張率は断面内で著しく変化している。

また、内的一軸拘束方法では、膨張エネルギーが特に大きいコンクリートの場合に拘束が不十分になる。膨張材の混和率を 17 % と多量に用いた膨張モルタルの場合を図-5 に示す。断面が 10×10 cm、長さが 50 cm のは

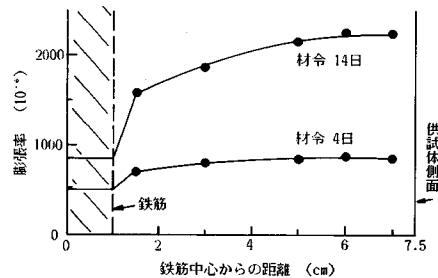


図-4 断面内の膨張分布

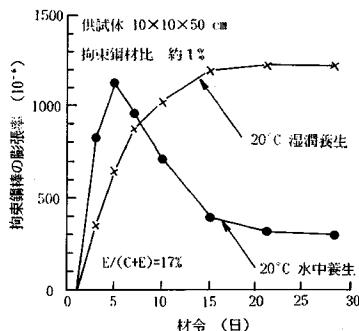


図-5 膨張エネルギーの大きいコンクリートにおける拘束鋼棒の膨張量

りの断面図心に、JIS B 0207に規定する呼びM 12×1.5に従って全長にわたってねじ転造を施した呼び名が11 mmのPC鋼棒を拘束鋼材として埋め込み、鋼棒の両端の長さ変化をダイヤルゲージで測定し、有効長を46 cmとして求めたPC鋼棒の膨張率の時間的変化を示している。

基長とした材令1日より水中養生を行った場合には、膨張率の増加が大きいが、材令5日において最大値を示した後、膨張率は減少している。拘束鋼棒と膨張コンクリートの付着による拘束が弱まり、拘束鋼棒に復元力が生じたためと考えられる。材令1日より湿布を被覆して養生した場合は、水中養生に比べて拘束鋼棒の膨張率は小さいものの、膨張率が減少するといった現象は認められなかった。

3. 外的一軸拘束状態における膨張特性

外的一軸拘束方法では、コンクリートの膨張をいったん両端面に配置した端板で受け止めた後、端板と結合している軸方向に配置した拘束鋼材で拘束することになる。したがって、端板は、軸方向の膨張力を受け止めるだけでなく、それに直角な方向の膨張も、端板の内面の摩擦によって拘束することになる。

図-6は、断面が15×15 cmで、長さを55 cmと165 cmに変化した外的一軸拘束を受ける膨張コンクリート

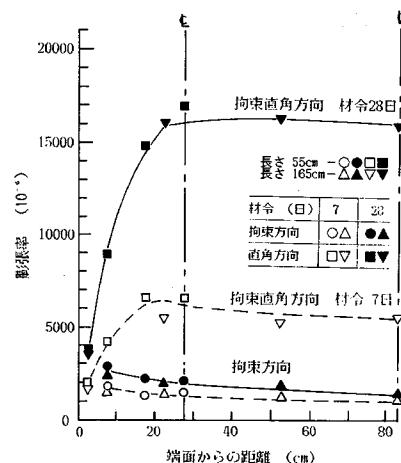


図-6 コンクリートの膨張率の分布(シース有)

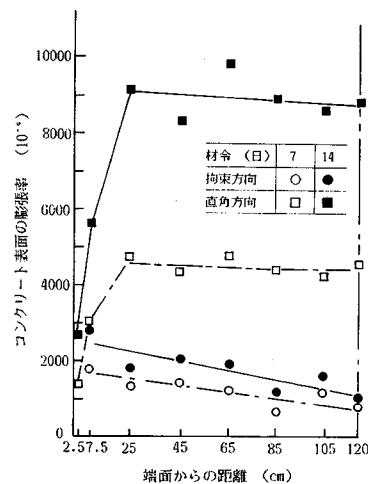


図-7 コンクリートの膨張率の分布(シース無)

表面の膨張率が、拘束方向の軸方向とそれに直角方向のそれについて、軸方向にどのように分布するかを示したものである。断面図心にφ35 mmのシースを介し、呼び名が17 mmのPC鋼棒で拘束している。端板の両面は旋盤仕上げをし、厚さは30 mmである。また図-7は、15×15 cmの断面で、長さが240 cmの例である。この場合、厚さが30 mmの端板と2本の呼び名が14 mmのPC鋼棒を用いて、コンクリート内部にシースを設げずに膨張コンクリートを外部より拘束した。

いずれの図からも、軸直角方向の膨張率は、端板内面の摩擦による拘束を受けるため、端板から離れるほど大きな値を示している。そして、ある距離を離れるとはほぼ一定の値を示していることは明瞭である。なお、端板近くでは、拘束鋼材比が約1%の拘束方向膨張率よりも小さい値を示す例もある。軸直角方向の膨張率がほぼ一定

付表 コンクリートの配合および養生方法

配合名	水結合 材 比 (t)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m³)				スランプ (cm)	養生	適用	
			水	セメント	膨張材	細骨材				
A	38.5	36	173	382.5	67.5	633	1137	6.3~8.8	水中	図-1~図-4
B	38.5	36	173	360	90	636	1136	4.7~7.0	水中	図-6~図-7
C	45	-	295	557	98	1310	-	70~170	水中	図-5

になる端面からの距離は、いずれの場合も断面寸法の2倍程度の約30cmであって、これより近い位置では、端板内面との摩擦による拘束を受けていることになる。

拘束方向の膨張率は、拘束直角方向の膨張率ほどの変化はないが、供試体中央部の拘束直角方向膨張率がほぼ一定になっている区間に比べて、端面近くのほうが大きな値を示している。これまでの外的拘束方法における供試体の長さは、断面寸法の約5倍以下の場合が多いため、拘束方向のコンクリートの膨張分布について検討したものはない。

図-6および図-7は、供試体中央部における拘束のない拘束直角方向の膨張率が 5000×10^{-6} 以上といった膨張エネルギーの特に大きな膨張コンクリートの場合であるが、拘束直角方向の膨張を何らかの方法で拘束することにより、それに直角な軸方向の拘束膨張率が大きくなることを示唆している。この興味ある現象は、多軸拘束を受ける膨張コンクリートの膨張機構を解明する手掛りを与えてくれるものと思われる。今後研究を進めていただきたい。

4. 結論

膨張コンクリートの膨張特性を適正に判断するために重要な、内的一軸拘束および外的一軸拘束を受ける場合の膨張特性について実験を行った結果を報告した。本実験の範囲内で、次のことがいえると思われる。

(1) 内的一軸拘束状態では、拘束鋼材と膨張コンクリートの付着による拘束が不十分な供試体端部が存在する。そのため、供試体の長さを短縮することには限界があること、拘束膨張率の評価には、付着力に影響を及ぼす拘束鋼材の表面形状、供試体の長さなどに十分な注意が必要であること、および、膨張エネルギーの特に大きな膨張コンクリートには適用が困難であることなどが問題である。

(2) 内的一軸拘束状態における端部の拘束が不十分な範囲は、軸直角方向にも拘束鋼材を配置することによ

り低減できる。

(3) 外的一軸拘束状態では、端部において、端板内面の摩擦により拘束直角方向の膨張も拘束されるが、この範囲は、端面から断面寸法の2倍程度までである。また、端部のコンクリートの拘束方向膨張率は、端板内面の摩擦がない供試体中央部よりも大きな値を示す。

謝 辞：本研究における大部分の実験は、著者が東京大学大学院在学中に、國分正胤先生、岡村甫先生のご指導の下に実施したものである。付記して、厚く御礼申し上げます。

付録 コンクリートの配合および養生方法

本研究に用いたコンクリートおよびモルタルの配合ならびに養生方法を付表に示す。膨張材はエトリンガイト系のものを、セメントは早強ポルトランドセメントを用いた。骨材は富士川産の川砂および川砂利を用い、粗骨材の最大寸法は25mmとした。

参考文献

- 1) Bertero, V. and Polivka, M.: Effect of Degree of Restraint on Mechanical Behavior of Expansive Concrete, Proc. of ASTM, Vol. 64, pp. 797~815, 1964.
- 2) Bertero, V.: Curing Effects on Expansion and Mechanical Behavior of Expansive Cement Concrete, Jour. of ACI, No. 64-8, pp. 84~96, Feb., 1967.
- 3) 長瀧・米山・飯田：化学的プレストレスの導入に関する基礎研究、セメント技術年報、XXII, pp. 457~461, 1968.
- 4) 辻 幸和：コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎研究、土木学会論文報告集、第235号, pp. 111~124, 1975年3月。
- 5) 戸川・中本・中野：膨張コンクリートの拘束膨張特性におよぼす温度の影響、セメント技術年報、35, pp. 277~281, 1981.
- 6) 國府勝郎：膨張コンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎研究、土木学会論文報告集、第334号, pp. 145~154, 1983年6月。

(1986.6.25・受付)