

正員 尾坂芳夫 (東北大学)

正員 加藤勝美 (国鉄 仙台新幹線工事局)

正員 阿部公一 (東北大学 大学院)

1. まえかき

鉄筋コンクリート構造物は 不静定の場合 外力がほとんどない場合でも コンクリートの乾燥収縮あるいは温度変化によって自己歪応力が生じ、ついには自己歪応力のために容易に亀裂がはいたりやすい。そのためRC構造物の使用限界状態を議論する場合 自己歪応力の大きさが問題となる。

鉄筋コンクリートの乾燥収縮及び温度変形の大きさはさまざまな要因により支配されると考えられる。そこで1段階として 鉄筋比の異なる梁の供試体を作製し鉄筋量の違いによる拘束の程度の違いが 発生する自己歪の大きさに与える影響を調べることを目的とし、実際のRC部材と同様な環境条件で実験を行った。以下にその結果を報告する。

また 現在建設が進められている東北新幹線のRCラーメン高架橋について 自己歪による長さ変化を測定した結果をあわせて報告する。

2. 実験概要

2-1 鉄筋比の異なる梁の乾燥収縮の測定 図-2に示す形状及び測定装置を有す供試体を用い 鉄筋比を表-4の通り6 CASE に変化させ各々2個・計12個の供試体を作製して行った。供試体は露天に放置し両端を鉄板でツールし 上下両側面の4方向から乾燥が進行するようにした。測定装置は 断面中央部の塩ビパイプ内に配置した鋼棒の一端を供試体に定着させ他端に取りつけたダイヤルゲージ(1/100 mm)により 見掛けの鋼棒の長さ変化を記録する。さらに見掛けの長さ変化から 鋼棒の熱変形と供試体の熱変形を補正除去し乾燥収縮歪を求めた。その際 鋼棒の熱膨張係数は  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  とし、RC供試体の熱膨張係数は 約20ヶ月後 供試体に 日変化の乾燥収縮は生じないと考え供試体の温度変化と歪変化を同時に記録し、両者の関係を最小自乗法によって直線近似して求めた。

また 並行して カールソン歪計を供試体の中心位置に埋設し 歪とコンクリート温度の測定を行った。

コンクリートの配合、圧縮強度試験結果、供試体の種類はそれぞれ 表-1 表-2 表-3 に示した通りである。

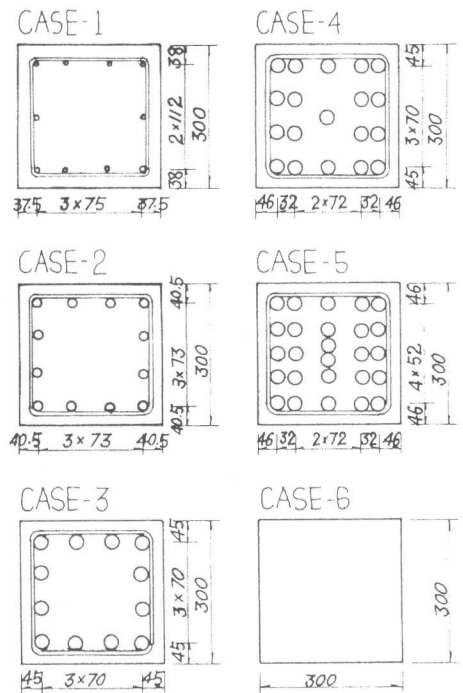


図-1 配筋図

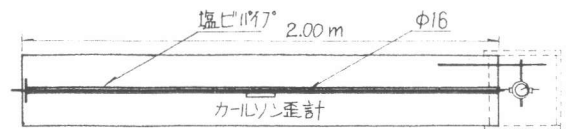


図-2 測定装置

表-3 供試体の種類

	使用鉄筋	本数	鉄筋量 cm <sup>3</sup>	鉄筋総周長	鉄筋比(%)
CASE-1	D10	10	19.86	30 cm	2.2
CASE-2	D22	12	46.45	84	5.2
CASE-3	D29	12	77.09	108	8.6
CASE-4	D32	19	150.90	190	16.8
CASE-5	D32	26	206.49	260	22.9
CASE-6	-	-	-	-	0(無筋)

表-1 コンクリートの示方配合

骨材最大径 (mm)	スラブ厚 (cm)	空気量 (%)	W/C	S/a	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	珪砂
25	81	24	52	45.3	171	329	788	1051	0.823

表-2 コンクリートの現場養生圧縮強度試験結果

養生日(day)	7	28	56	91
圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	163	229	342	313

2-2 図-4に示す4径間RCラーメン高架橋の温度変化と乾燥収縮による長さ変化の測定を行なった。測定は上梁、地中梁、及び施工上の都合から不可能な上梁の初期打設時の測定をスラブ上面で行なった。測定装置は高架橋全長に丸鋼を渡し、両端を高架橋端に定着させ、両端からのびた丸鋼の間にダイヤルゲージ(1/100mm)をセットし、丸鋼の見掛けの伸縮量を測定した。さらに丸鋼の温度補正を行い、高架橋の軸方向長さ変化を求めた。コンクリート温度・丸鋼の温度を銅-コンスタンタン熱電対により測定した。

また、タイプの異なる中間梁のあるRCラーメン高架橋の長さ変化を同様な方法で現在測定中である。

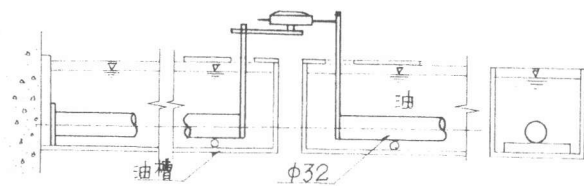


図-3 測定装置詳細図

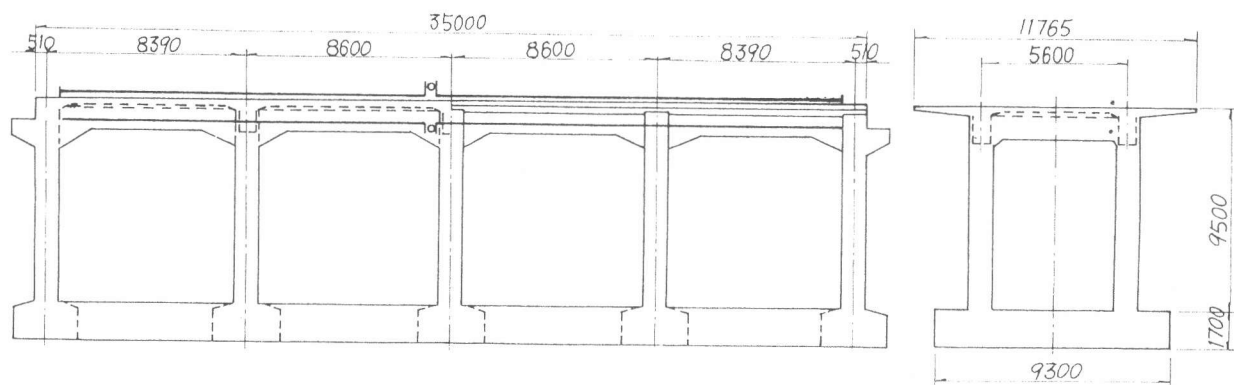


図-4 4径間ラーメン高架橋 正面図及び測定装置

断面図

### 3. 実験結果及び考察

3-1 RC供試体の断面中心温度とダイヤルゲージによる自己歪の測定結果を図-5に示す。

供試体の温度はすべての種類の供試体で常にほぼ同じ値が測定されたので、図には代表して無筋コンクリート(CASE-6)の測定結果を測定開始時点を基準とし、基準値からの差として示した。

自己歪も同様に測定開始時点を基準として、各ケース2本の供試体の平均値をとり、収縮をマイナス、膨張をプラスとして示した。

測定された自己歪は、気温変動とともにほぼ同じ大きさで繰り返し生じる供試体の温度変化による自己歪と、コンクリート打設とともに収縮側一方向に進行する乾燥収縮歪との重ね合せた歪と考えられる。

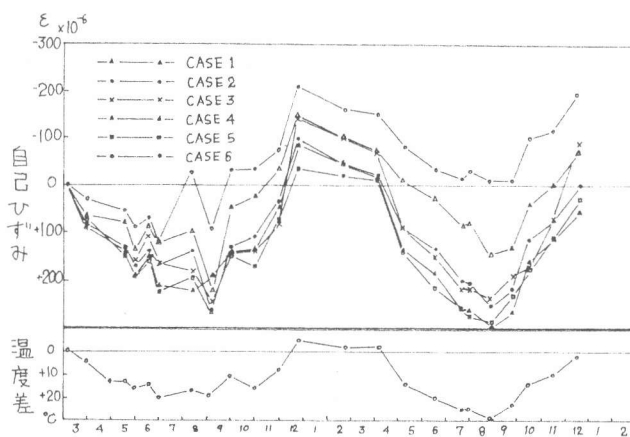


図-5 温度変化と自己歪

CASE-6(無筋)とCASE-1(P=2.2%)は、打設の進行とともに膨張歪が小さくなる一方、収縮歪が大きくなり乾燥収縮の存在を思わせる。他方、コンクリート温度が気温変動とともに季節変化し、測定開始時の温度にもどるまでを1サイクルと考えれば、鉄筋比が5%を超えるCASE-2,3,4,5は、約2サイクルも約1サイクルとほぼ同じ大きさの歪変動を繰り返しており、日間の温度較差による自己歪量は、約 $400 \times 10^6$ を記録している。

コンクリート打設20ヶ月(1978年10月)に、全種の供試体について温度と自己歪の日変化の測定を行なった。図6はCASE-6(無筋)の結果であり、時計回りの履歴曲線を描いている。他の種類の供試体の測定結果も同様な履歴曲線を描いており、それを最小自乗法により直線近似し、その直線の勾配をもって、各種供試体の熱膨張

係数として比較すると表-4のような値が得られた。鉄筋量が多くなると供試体の熱膨張係数は次第に大きくなることかわかる。

温度変形が杖令に関係なく得られた一定の熱膨張係数をもつものと仮定し 図5から各ケースの乾燥収縮歪( $\epsilon_{sh}$ )を求め図7にプロットした。

晴天日の続く秋に乾燥収縮が進行し、降水量の多い夏と冬には進行が止まり、一時的に膨張する傾向が散見できる。

次に乾燥収縮の進行はクリープの進行と相似であると仮定し 各ケースの収縮の進行をクリープ関数と同じ式の形をした曲線  $\epsilon_{sh} = A\tau / (B + \tau)$  ( $\tau$ :杖令,  $A$ :  $B$ :定数) に最小自乗法によって近似した。得られた式と曲線を図7に合わせ示した。ここで近似した曲線式の性質から定数  $A$  は乾燥収縮歪( $\epsilon_{sh}$ )の最終値であり  $A = \infty \epsilon_{sh}$  と書ける。定数  $B$  は収縮が進行する速度に関係し  $B$  の値が小さい程速く最終値に達する。CASE-1とCASE-6のいずれも 杖令21ヶ月で最終値の78%の乾燥収縮が進行していることになる。

最後に乾燥収縮の推定最終値( $\infty \epsilon_{sh}$ )と鉄筋比( $P$ )及び総鉄筋周長( $L$ )との関係を 図9・図9に示した。鉄筋比が小さい範囲では鉄筋が拘束が乾燥収縮に与える影響は大きく  $P=2.2\%$  では無筋の約50%に  $P=5.2\%$  で約12%に減少する。鉄筋比が5%を超えた範囲では 鉄筋比の増加がさほど敏感に影響しなくなり、 $P=16.8\%$   $P=22.9\%$  では乾燥収縮は完全に拘束され 発生しないことかわかる。

表-4 供試体の熱膨張係数

	鉄筋比 %	熱膨張係数 / $^{\circ}\text{C}$
CASE-1	2.2	$9.11 \times 10^{-6}$
CASE-2	5.2	9.35
CASE-3	8.6	9.67
CASE-4	16.8	11.02
CASE-5	22.9	11.04
CASE-6	0(無筋)	9.21

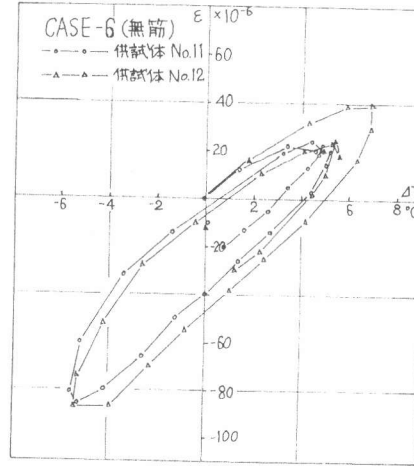


図-6 温度と歪の日変化

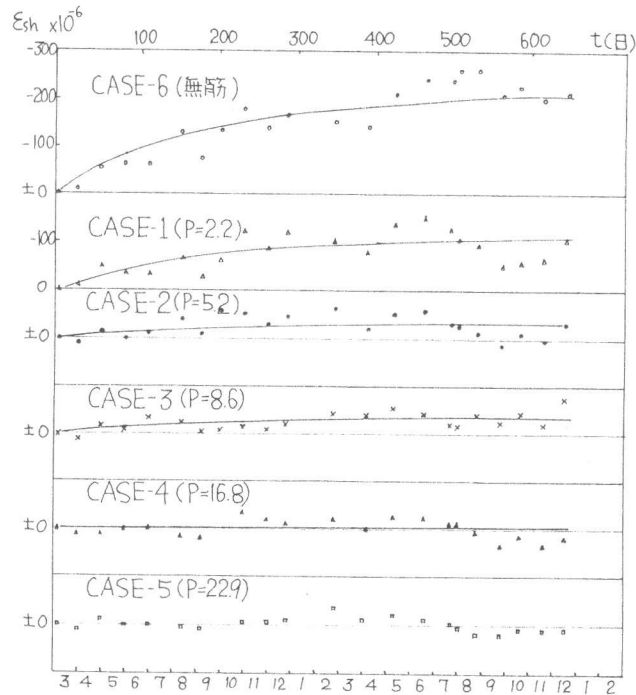


図-7 乾燥収縮歪

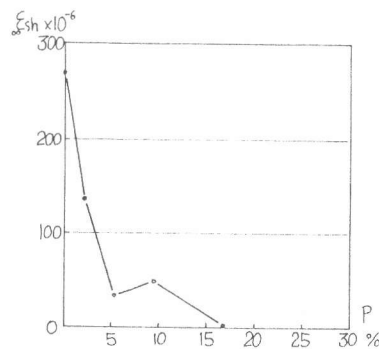


図-8 鉄筋比と乾燥収縮歪

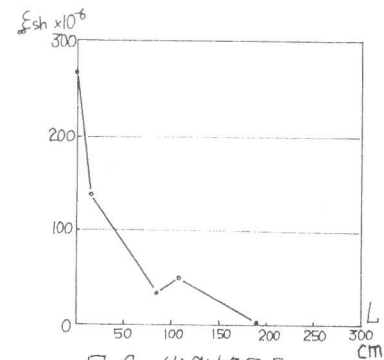


図-9 総鉄筋周長と

乾燥収縮歪

3-2 ダイヤルゲージによる高架橋の長さ変化から算出した自己歪の結果を図10,11,12に示す。コンクリート温度と自己歪は 測定開始時点も基準とし 基準値からの差とし、自己歪については収縮をマイナス 膨張をプラスとして示した。測定される歪は コンクリートの乾燥収縮歪 温度変化による歪 さらにクリープを合せ含んだものである。

4径間標準タイプラーメン高架橋の上梁スラブでは コンクリートの水和熱の降下による収縮歪が大きく現われているが、若枚令の為 この収縮歪による内部応力はコンクリートのクリープによって緩和されると考えられる。

スラブ上梁では 耳間の温度較差は約30℃で それによる梁の温度変形は約 $250 \times 10^6$ であり、高い高架橋の地中梁では約25℃に対し  $200 \times 10^6$ とスラブ上梁に比べ小さい。しかしこの値は予想以上に大きく 一般に不静定構造物の設計の際「地中に埋められたコンクリートの温度は耳中ほとんど同一であり 温度変形を起こさない」とする仮定は 今回測定したラーメン高架橋にはそぐわないことがわかる。

図12は中間梁のあるラーメン高架橋の測定結果の途中経過である。歪はコンクリート温度と相似な動きをしており、乾燥収縮歪が現われていない。

4. あとがき

鉄筋量の違いによる乾燥収縮の大きさの違いは 図8,9からおおよその傾向がつかぬ実験の目的が達せられたと思う。今後さらに 一般に実構造物の鉄筋比は5%以下であることを考慮し、設計に役立てることができるよう 5%以下の範囲で鉄筋比を細かく分類した実験を行い 鉄筋の乾燥収縮に与える影響を実験的に解明したい。

また 断面形状による違いが乾燥収縮に与える影響を調べることを目的とした実験を恒温室内で行なう計画である。

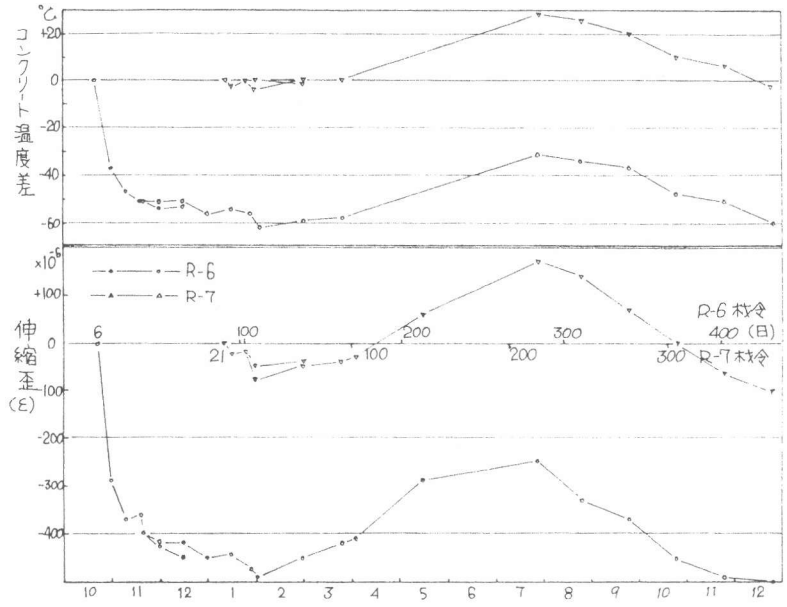


図10 標準型ラーメン高架橋 スラブ上梁の伸縮歪

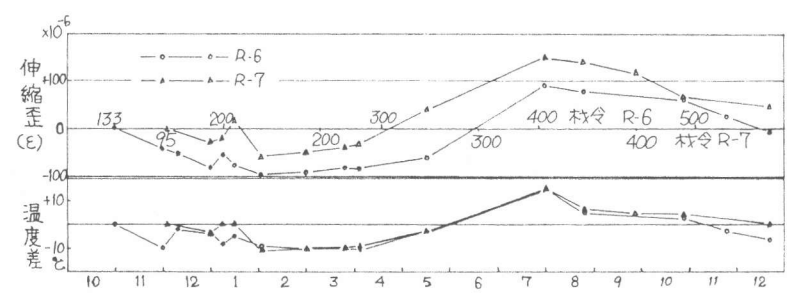


図11 標準型ラーメン高架橋 地中梁の伸縮歪

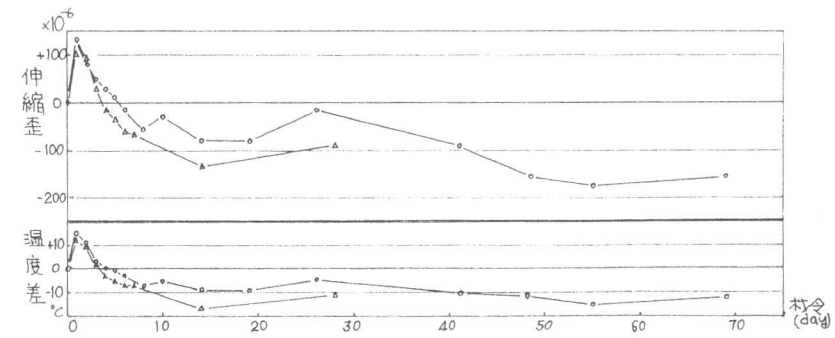


図12 中間梁のあるラーメン高架橋 スラブの伸縮歪