

鉄筋コンクリートの収縮ときれつ (その1)

—鉄筋の種類と配置方法との関係—

中西正俊

§ 1. 序

コンクリートは、一般に、乾燥によって収縮するが、これに対する拘束が存在するときれつが発生する。表-1は、拘束の型を模型的に表示したものである。コンクリートまたは鉄筋コンクリート部材の収縮ときれつに関係のある要因は、セメント、骨材、混和剤等の材料¹⁾以外に、コンクリート部材の形状²⁾、コンクリート部材の容積と乾燥を受ける面積との割合³⁾⁴⁾、補強筋⁵⁾、周囲の温湿度⁶⁾、拘束⁷⁾等がある。これらに関する研究の大部分は、実験室で小型の試験体について行なわれたもので現場規模で実大実験を行なった例は比較的少ない。

本報告は、比較的可変しやすい要因である“補強鉄筋の種類と配置方法”によって、構造体に発生するきれつをどの程度防止し得るかを、実際の建物での実験を中心にして検討したものである。

論文の内容には次のものを含んでいる。

- a. 鉄筋量と収縮量に関する実験
- b. 拘束きれつ発生装置による実験
- c. N大病院研究棟における現場実験

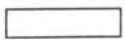
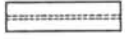

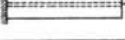


No.	拘束の型	備考
1		実験室で作れる (JIS長さ変化試験体)
2		実験室で作れる
3		実験室で作れる (拘束きれつ発生装置)
4		実際の建物の場合 (実験室でも作れる)
5		実在しない
6		実在しない

表-1 拘束の型

a. は表-1の No.1 と2に、b. は同 No.3 と4に、c. は同 No.5 に各々相当する拘束の型をもつものである。

§ 2. 鉄筋量と収縮量に関する実験

コンクリートの乾燥収縮におよぼす打込み方向と補強筋の影響について行なったもので、詳細は別報⁸⁾のとおりであるが、便宜上一部を再録するとつぎのとおりである。

2.1 使用した材料とコンクリートの調査

使用した材料はつぎのとおりであり、コンクリートの調査は表-2に示すとおりである。

セメント：日本社製普通ポルトランド

粗骨材：鬼怒川産砂利 25mm以下

細骨材： // 砂 1.2mm以下

鋼材：普通丸鋼 S R 24, 13φ

異型丸鋼 S D 35, 13HD (DACON)

W/C (%)	予定スランプ (cm)	S/A (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)			得られたスランプ (cm)
				セメント	砂	砂利	
56.9	21	37.9	199	350	673	1,105	21

表-2 コンクリート調査表

2.2 試験体の形状等

表-3 および図-1に示すとおりである。

No.	形状 (cm)	コンクリート打込み方向	補強筋	養生中の試験体の支持方法	試験体の個数
1	40×10×10	水平	ナシ	水平、2点支持	3
2	52×10×10	〃	1-13φ	〃	〃
3	〃	〃	1-13HD	〃	〃

表-3 試験体の形状等

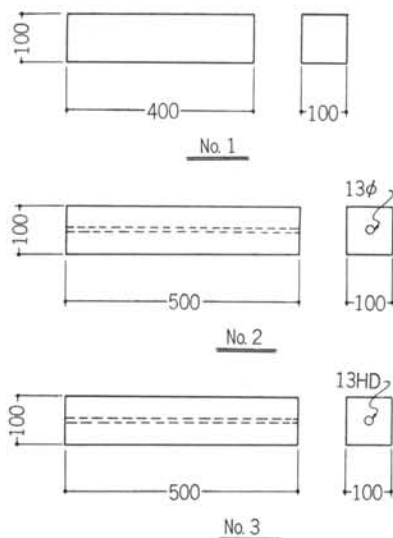


図-1 試験体の形状

2.3 試験体の製作と養生

試験体の製作は当所実験室で行なった。使用したミキサは容量2切の可傾式のもので、練りまぜ時間は全材料投入後3分間とした。打設48時間後に脱型、5日間20℃水中養生の後基長とし、28日間20±3℃、70±5% R.H.で、その後は、20±3℃、45±5% R.H.で養生した。

2.4 長さ変化測定方法

長さ変化の測定には、コンタクト・ストレーンゲージを使用した。

2.5 結果

表-4 および 図-2 に示すとおりである。

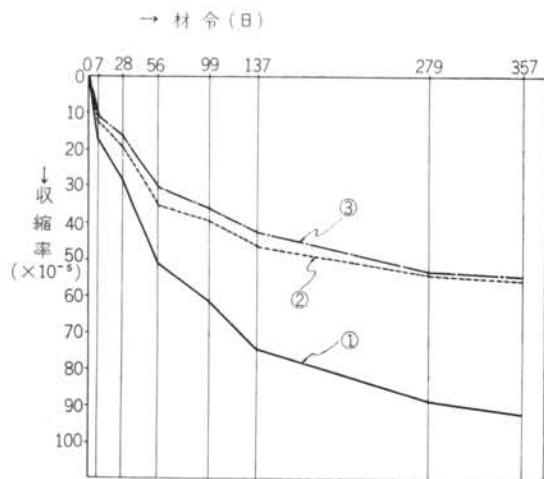


図-2 収縮率

No.	材令(日)							
	7	28	56	99	137	279	357	
1	16.2	28.2	51.5	61.5	74.4	88.4	91.8	
2	12.3	19.0	35.2	39.5	46.4	54.1	55.7	
3	11.2	16.7	30.9	36.2	42.6	53.1	54.7	

表-4 収縮率(×10⁻⁵)

2.6 検討

周囲の拘束がなくても、鉄筋の存在だけで、収縮量はかなり減少する。この問題を理論的に扱った文献は多いが、いずれも、クリープを考慮しない場合、する場合の2段階に分けて扱っている。

横尾、角田、多屋3氏の研究⁹⁾によると、“拘束されない鉄筋コンクリート部材の収縮”は、クリープを考慮しないときは、

c : コンクリート応力 (引張 \oplus)

S : 鉄筋 応力 (")

E_c : コンクリートの弾性係数

n : 弾性係数比

ϵ_0 : コンクリートの自由収縮歪 (表-1のNo.1の場合)

P : 鉄筋比

とし、弾性法則に従うものとすれば外力はないとして、

$$c = \frac{PnE_c\epsilon_0}{1+Pn} \quad (c > 0, \text{引張}) \quad \dots\dots(1)$$

$$S = \frac{PnE_c\epsilon_0}{1+Pn} \quad \dots\dots(2)$$

コンクリートの弾性歪を ϵ とすれば

$$\epsilon = -\frac{c}{E_c} \quad (\epsilon > 0) \quad \dots\dots(3)$$

鉄筋の存在するときの収縮歪を ϵ_R とすれば

$$\epsilon_R = \epsilon_0 - \epsilon$$

この実験では、鉄筋量は、丸鋼13φのとき、1.33%、異型13HDのとき1.27%である。(1)で $n=10$, $E_c=2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とすれば

$$\text{丸鋼では } c_1 = \frac{PnE_c\epsilon_0}{1+Pn} = 0.235 \times 10^5 \times \epsilon_0$$

$$\text{異型では } c_2 = \frac{PnE_c\epsilon_0}{1+Pn} = 0.226 \times 10^5 \times \epsilon_0$$

(3)による弾性歪 ϵ は

$$\text{丸鋼では } \epsilon_1 = -\frac{c_1}{E_c} = -0.1175 \times \epsilon_0$$

$$\text{異型では } \epsilon_2 = -\frac{c_2}{E_c} = -0.1130 \times \epsilon_0$$

したがって収縮拘束歪 ϵ_R は

$$\text{丸鋼では } \epsilon_{R1} = \epsilon_0 - \epsilon_1 = 0.8825 \times \epsilon_0$$

$$\text{異型では } \epsilon_{R2} = \epsilon_0 - \epsilon_2 = 0.8870 \times \epsilon_0$$

クリープを考慮すると、引張歪は大きくなり、収縮拘束歪は小さくなる。クリープ係数を $2^{(10)}$ とすれば、引張弾性歪の3倍は伸び得ることになるから、

$$\epsilon_1' = 3\epsilon_1$$

$$\epsilon_2' = 3\epsilon_2$$

$$\epsilon_{R1}' = 0.6475 \times \epsilon_0$$

$$\epsilon_{R2}' = 0.6610 \times \epsilon_0$$

実験結果は、表-4 から、材令357日で

$$\epsilon_0 = 91.8 \times 10^{-5} \quad (100)$$

丸鋼 $\epsilon_{R1}' = 55.7 \times 10^{-5} \quad (60.7)$

異型 $\epsilon_{R2}' = 54.7 \times 10^{-5} \quad (59.6)$

計算結果と比較するとほぼ一致する。

§ 3. 拘束きれつ発生装置による実験

完全なる拘束(表-1のNo.5, 6)は実在しない。拘束部材に応力が作用すると、必ず歪を生じ、拘束緩和を生じる。このため実在するのは不完全拘束(表-1のNo.3, 4)である。

この実験の目的は、拘束材の歪を含めて詳細に各部歪を測定し、拘束材とのバランス、きれつ発生前後の各部歪の変化をみることにある。

3.1 使用した材料とコンクリートの調合

使用した材料はつぎのとおりであり、コンクリートの調合は表-5に示すとおりである。

セメント：日本製普通ポルトランド

粗骨材：鬼怒川産砂利 25mm以下

細骨材： " 砂 5mm以下

鋼材：普通丸鋼 SR-24, 13φ

異型丸鋼 SD-35, 13HD (スミバー)

W/C (%)	予定スランプ (cm)	S/A (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)			得られたスランプ (cm)
				セメント	砂利	砂	
59.0	21	43.8	206	349	793	1,010	19~22

表-5 コンクリートの調合

3.2 試験体の形状等

この試験は、"コンクリートの収縮拘束きれつ発生試験装置"⁽¹¹⁾によった。すなわち、図-3および写真-1に示すように、拘束スパン607mm、直線部分200mm、全長1,110mm、供試コンクリートの断面積の最小：10×10=100cm²、拘束鋼材 4-L-50×50×4である。

試験体一覧表を表-6に示す。

記号	拘束鉄筋	試験体個数
A	ナ シ	1
B	1-13φ	"
C	1-13HD	"

表-6 試験体一覧表

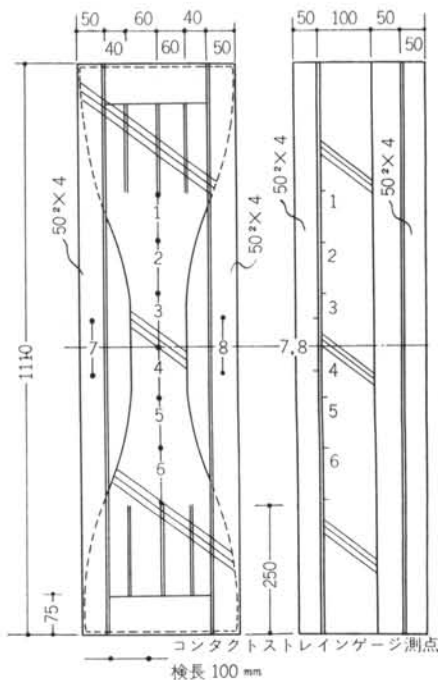


図-3 コンクリートの収縮拘束きれつ発生装置



写真-1 拘束きれつ発生試験体

3.3 試験体の製作等

試験体の製作は屋外で行なった。コンクリートは「レディミクストコンクリート」を使用した。練りませ時間は16分間であった。打設3日後を基長として、約6ヵ月間測定した。養生は室内放置で、温湿度の調整は特に行っていない。

3.4 長さ変化測定方法

2.4と同様、コンタクト・ストレインゲージを使用した。検長100mmで、試験体1個に対して、コンクリート表面6ヵ所、拘束鋼材表面2ヵ所(図-3)を測定した。

3.5 結果I(長さ変化)

図-4~図-7に示すとおりである。

図-4~図-6は、試験体A~Cにおける、コンクリートおよび拘束鋼材の表面歪測定結果である。材令を示す数字を囲む○印は、きれつ発生材令を示す。

図-7は、測定時の気温と相対湿度を示す。

3.6 結果Iに対する所見

図-4~図-6を通じて、コンクリートおよび拘束鋼材の長さ変化はなめらかでない。これは温度の補正は測定時の気温をもとに行なったが、湿度の補正は全く行っていないためとみられる。

コンクリートと、拘束鋼材の長さ変化量の比較をすると、いずれの場合も、きれつ発生まではほぼ同一の変化を示すが、きれつ発生後はCを除いてコンクリートの長さ変化の方が鋼材のそれよりかなり大きい。

このことは、拘束鋼材の歪は2ヵ所でしか測定していないが、全体の歪を代表できるのに反し、コンクリートの歪は6ヵ所で測定したが、コンクリートの部材断面が場所により異なるため、上下両端を含まない6ヵ所の測定では、全体の歪がわからない。このために差を生じたものと考えられる。

Cの場合は偶然にも、上下両端の歪が測定した6ヵ所の歪と等しかったと考えられる。

また、材令132日以後いずれも膨張側にあることは、測定時の気温を用いた温度補正が不完全なものであること(コンクリート試験体の温度と外気温は必ずしも一致しない)と、湿度補正を行っていない等の原因によると思われる。

きれつ発生材令は、Bが23日、A、Cが27日で、いずれも1ヵ月以内に発生している。

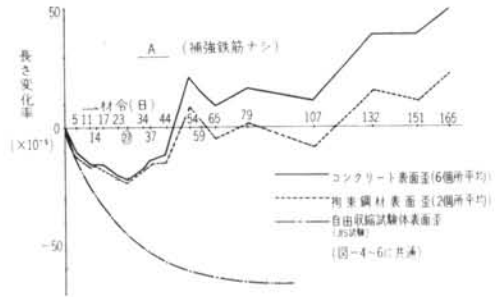


図-4 測定結果

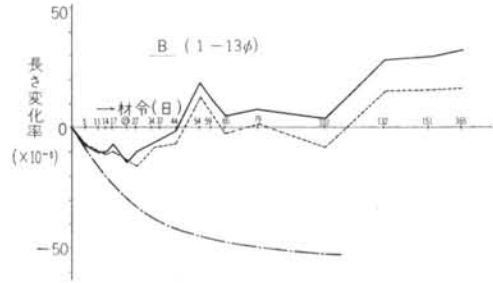


図-5 測定結果

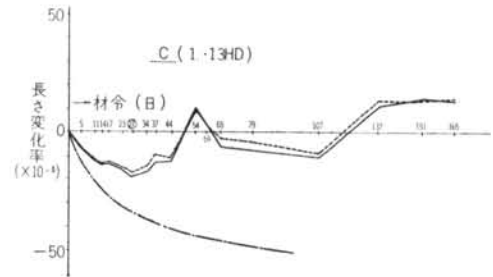


図-6 測定結果

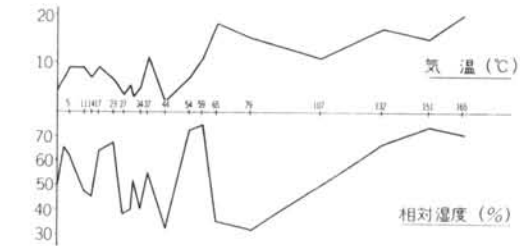


図-7 測定期間中の気温と相対湿度

3.6 結果II(きれつ幅)とその所見

この実験ではいずれもきれつが発生した。(図-8)きれつを含めた測定区間の長さ変化のみをとり出したのが図-9である。この値は、正確にきれつ幅を示すものではないが、きれつ幅に比較して周囲のコンクリートの歪はわずかであるから、ほぼきれつ幅そのものと考えてよい。図-9によると、A>B>Cという傾向がみられる。すなわち、無筋のときのきれつ幅が一番大きく、異型丸

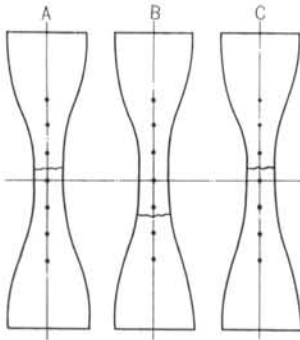


図-8 きれつ発生箇所
(きれつ幅は図-9 参照)

鋼を使用すると、普通丸鋼に比較してきれつ幅が小さくなることを示している。しかしながら定量的には、今回の試験がいずれも同一試験体1個についてのみ行なったものであるため、さらに多くの試験体について検討せねばならない。

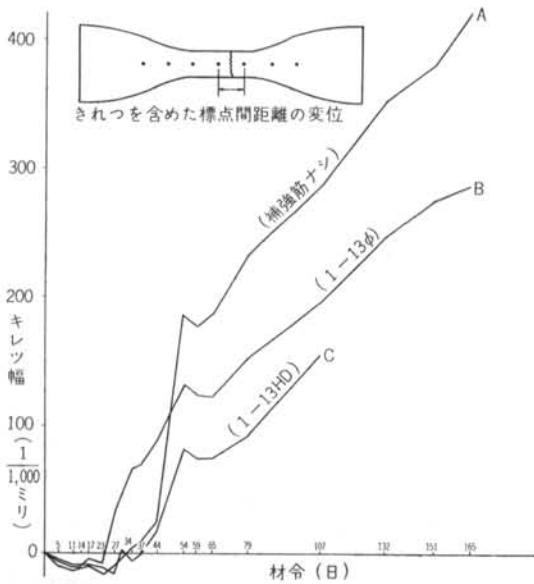


図-9 きれつ幅の変動

§ 4. N大病院研究棟における現場実験

4.1 目的

コンクリートの乾燥によって生じる収縮の測定は、実験室でJISによって行なったものが大部分であり、柱、梁によって周囲を拘束された鉄筋コンクリート壁体で、鉄筋の種類・配筋方法によって収縮率がどのように変わるかということはまだ明らかでない。鉄筋の影響、特に水平鉄筋の付着力低下が収縮率に及ぼす影響は、なるべく実大で行なうことが望ましいが、実大試験体を作成したとしても、養生条件を一定にするのはきわめて困難である。

現場を利用した実験は、その固有の条件のために普偏性には欠けるが、現場における鉄筋コンクリート部材の収縮量の実測と、鉄筋の種類および配筋方法によるきれつ防止効果を見ることを目的とする。

4.2 現場概要

図-10、図-11に示すような、鉄筋コンクリート造、地上3階、地下1階、塔屋1階、建築面積約480m²の建物で、1階西側外壁8スパンがすべて打放し、無開口壁であるため、この部分を試験対象とした。

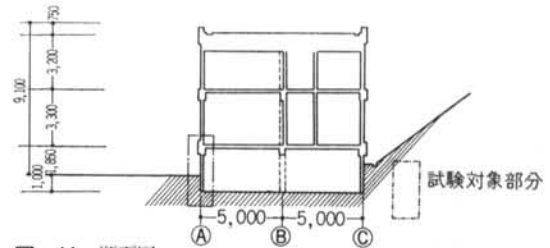


図-11 断面図

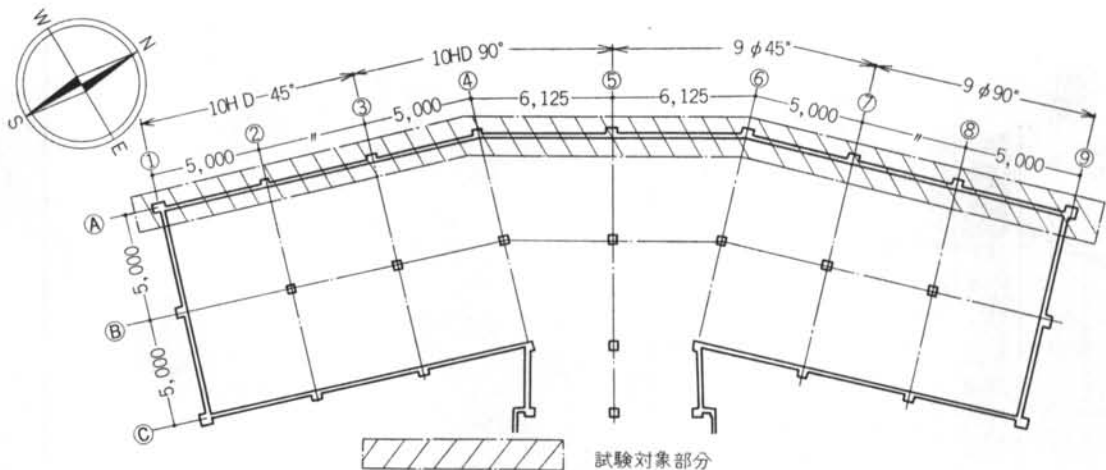


図-10 平面図(1階)

4.3 測定場所

図-10の1階平面図で、A通の外壁8面全部、および同A通の1～2通間、3～4通間の地中梁および2階床梁とする。測定点は図-12に示す。

4.4 測定方法

地中梁、2階床梁コンクリートの中央の歪は、カールソン型歪計により、外壁表面のコンクリートの歪は、コンタクト・ストレーンゲージによった。

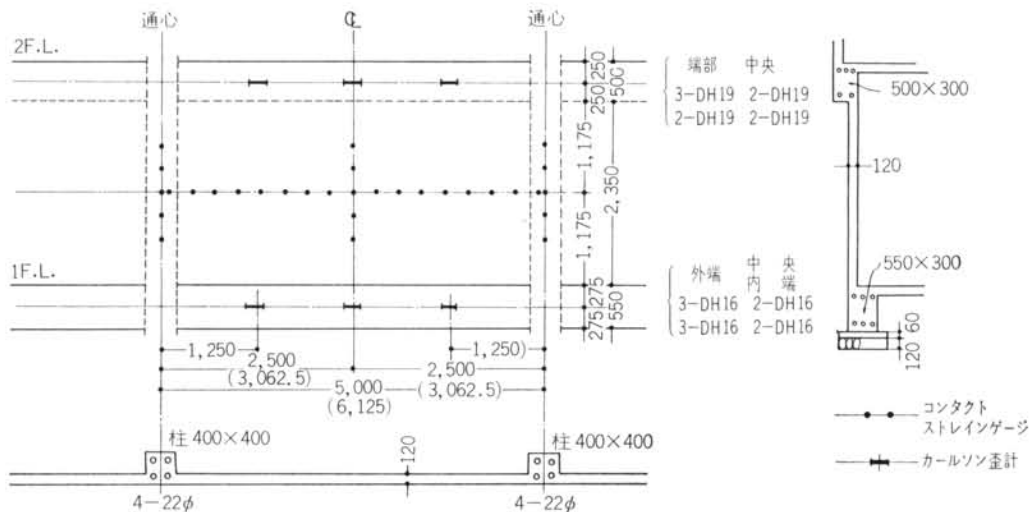


図-12 測定箇所

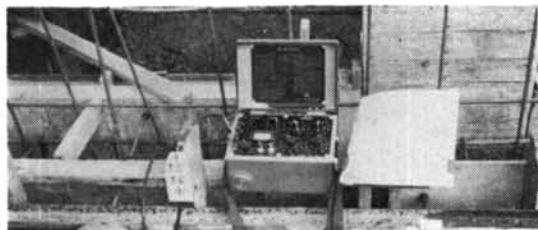


写真-4 カールソン型指示計

測定点は図-15に示すとおりであるが、カールソン歪計は共和電業KK製CS-15Dタイプ(写真-4, 8)を使用し、コンタクト・ストレーンゲージの測点距離は外壁内部表面(水平方向は階高中央部分8スパン、垂直方向は柱心およびスパン中央)は300mm、(写真-10, 11)外壁外部表面は主としてきれつをはさんで、検長100mmで部分的に測定した。

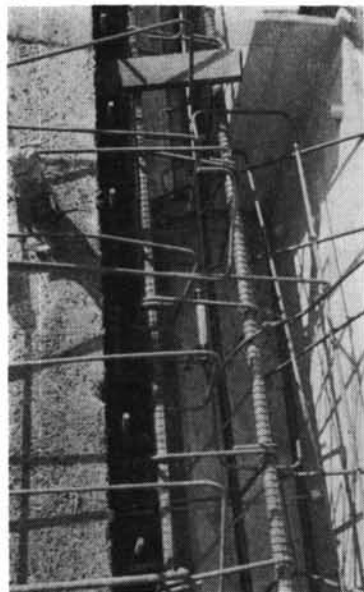


写真-8 カールソン型歪計CS-15D (2F床梁)

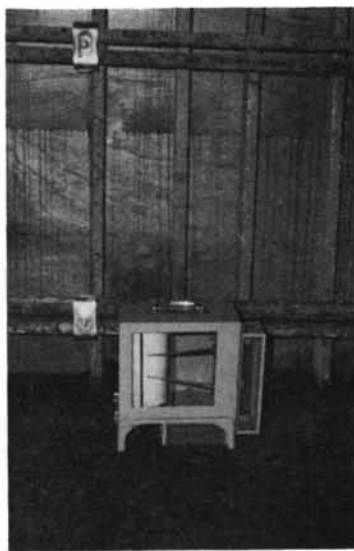


写真-9 自記温湿度計



写真-10 現場内自由収縮試験体と壁面のコンタクトゲージ測定点

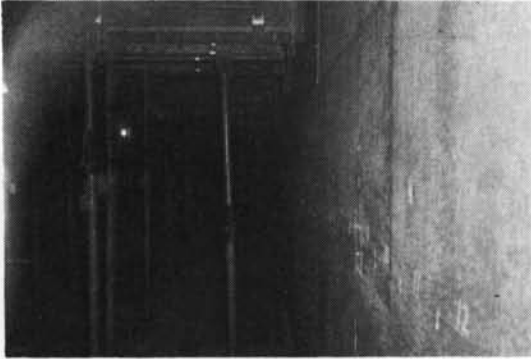


写真-11 壁面のコンタクトゲージ測定点

4.5 外壁の配筋

試験対象にした外壁8面については、普通丸鋼と異型丸鋼を半分ずつ使用、また、配筋角度を半分は45°傾斜させた。表-7および写真-3,4,5,6,7参照。

場所	鉄筋	ピッチ	配筋角度	備考
1~2通間	10HD	200ctc	45°	
2~3	〃	〃	〃	
3~4	〃	〃	90°	
4~5	〃	〃	〃	
5~6	9φ	〃	45°	
6~7	〃	〃	〃	
7~8	〃	〃	90°	原設計
8~9	〃	〃	〃	〃

表-7 配筋一覧表

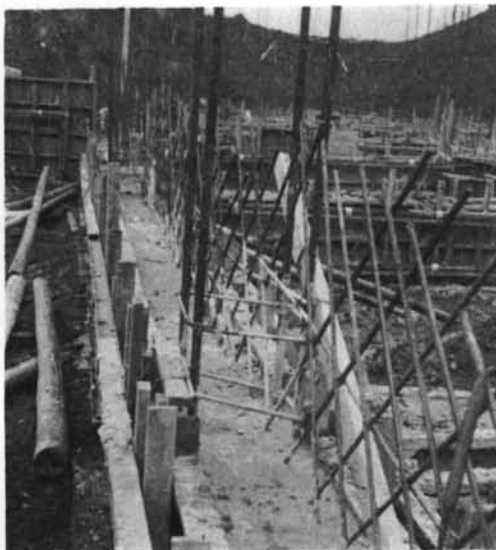


写真-7 基礎コンクリート打設終了

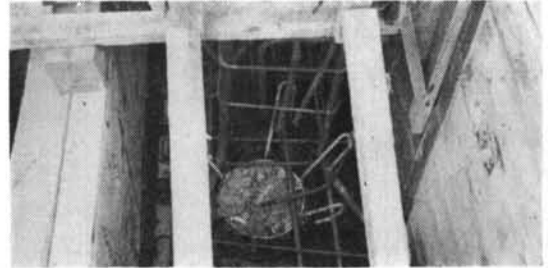


写真-2 基礎杭頭部分

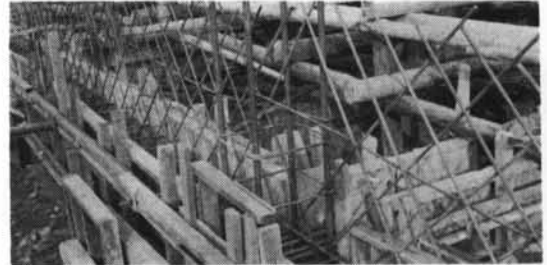


写真-3 45°傾斜異型丸鋼の差筋

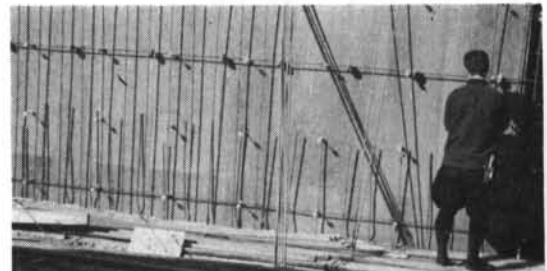


写真-5 配筋作業



写真-6 配筋作業

4.6 打設したコンクリート

4.6.1 使用した材料

セメント：小野田社普通ポルトランド

$K_{28}=415\text{kg/cm}^2$

粗骨材：荒川産砂利 25mm以下 比重2.62

細骨材：荒川鬼怒川産混合砂 2.5mm以下
比重2.63

鉄筋(壁配筋用)：普通丸鋼 SR-24, 9φ

降伏点33kg/mm², 引張強度48kg/mm²

: 異型丸鋼 SD-35, 10HD

日本鋼管製, 降伏点37kg/mm², 引張強度55kg/mm²

4.6.2 コンクリートの調合

表-8 に示すとおりである。

4.6.3 コンクリートの打設

レディミクストコンクリートを使用した(運搬所要時間約40分間)。壁はつき棒およびたきにより、梁はパイプレタを使用した。

区分	所要強度 (kg/cm ²)	予定スランプ (cm)	W/C (%)	S/A (%)	有効水 量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)			備考
						セメント	砂	砂利	
基礎	180	19	58	43.5	178	307	794	1,030	AE剤使用
軸部	180	21	58	44.6	184	317	802	996	〃

表-8 コンクリート調合表

4.7 測定結果

図-13~図-23, および表-9 に示すとおりである。

図-13: きれつを含めたスパン全長にわたる壁表面歪
表-9: 材令154日における壁表面収縮率。

図-14: 地中梁, 2階床梁中央の歪, ただし, No. 4 は欠測, No. 8, 11 はスパン中央に配置したもので, 梁の曲げの影響が加わっているため除外した。

図-15~図-18: きれつ調査図, 材令約11ヵ月(冬季)と, 材令約18ヵ月(夏季)の調査結果を示す。

図-19: きれつ発生後の幅の季節変動。

図-20: きれつ幅の季節変動測定期間中の日平均気温と同相対湿度。

図-21: 測定全期間中の月平均気温と同相対湿度。

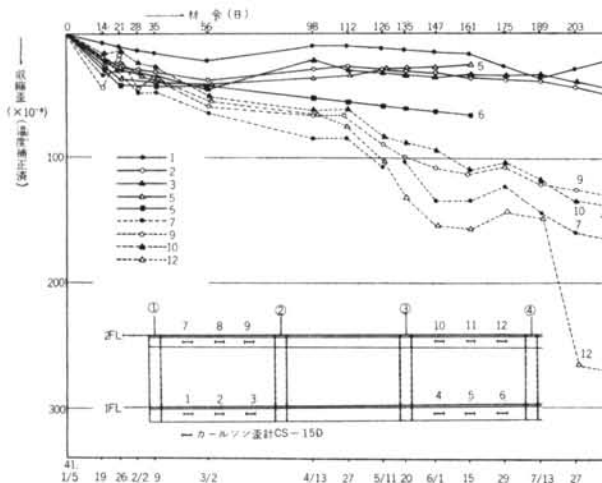


図-14 カールゾン歪計測定値

図-22: 現場測定結果を簡単にまとめたもの。

図-23: 現場試験壁体のきれつ発生前後の測定値の変動。

配筋	壁体水平方向 階高中央で測定	壁体垂直方向 スパン中央で測定	柱垂直方向
10HD@200 鉄筋比 0.296%	16.2	26.8	34.1
(百分比)	(100)	(165)	(210)
9φ @ 200 鉄筋比 0.267%	16.3	23.7	29.4
(百分比)	(100)	(145)	(180)
平均	16.2	25.0	31.8

表-9 コンクリート表面収縮率(×10⁻⁵) 材令154日(41.1/12→6/15)

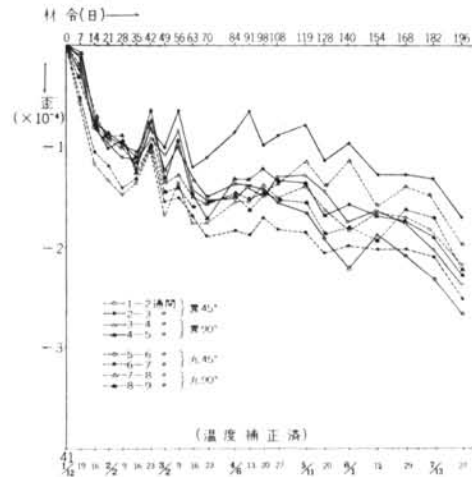
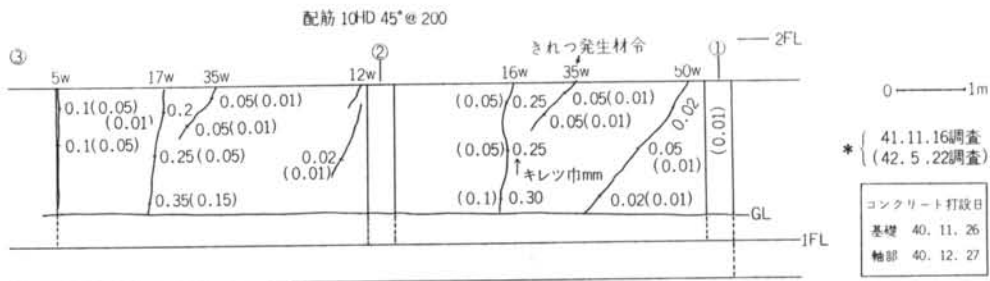
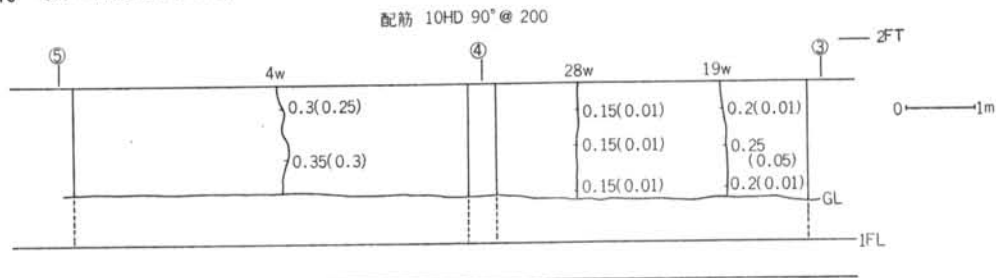


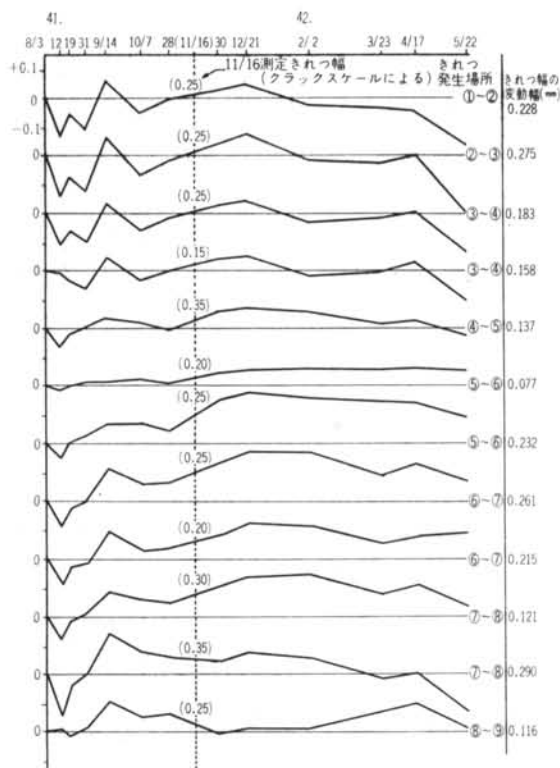
図-13 きれつ幅を含めたスパン全長の歪
(コンタクトゲージ測定値の平均)



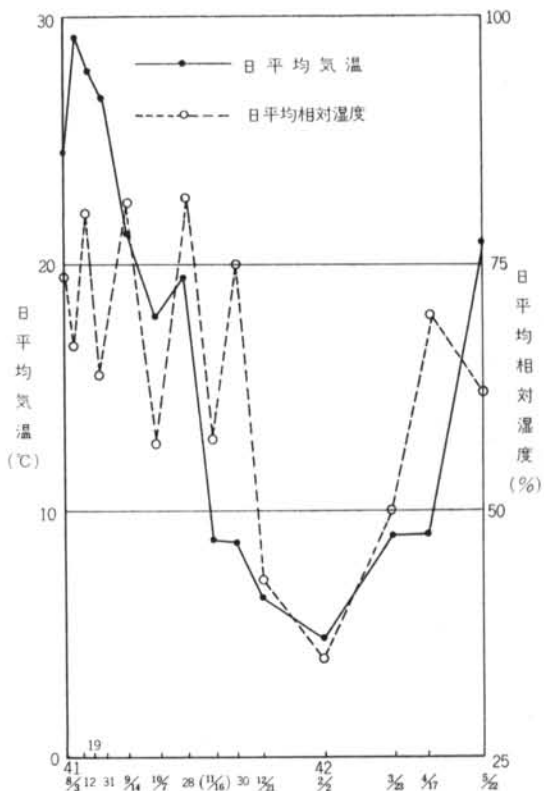
図—15 きれつ調査図(その1)



図—16 きれつ調査図(その2)



図—19 きれつ幅の季節変動(コンタクトゲージによる測定値) 単位mm



図—20 きれつ幅季節変動測定期間中の日平均気温と相対湿度

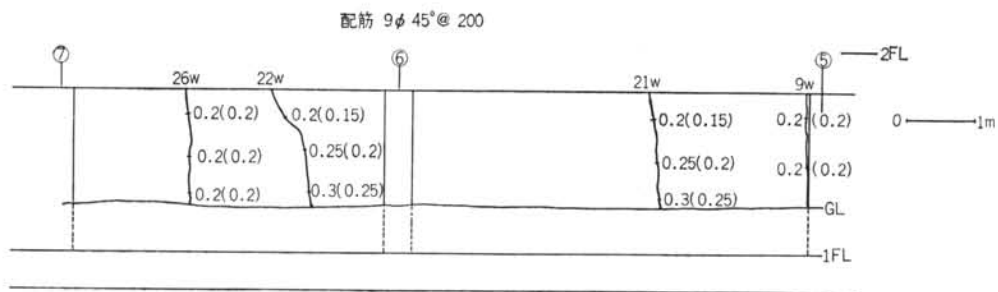


図-17 きれつ調査図 (その2)

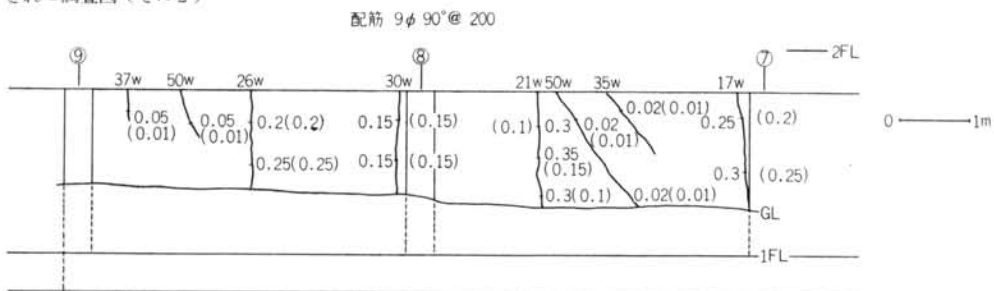


図-18 きれつ調査図 (その4)

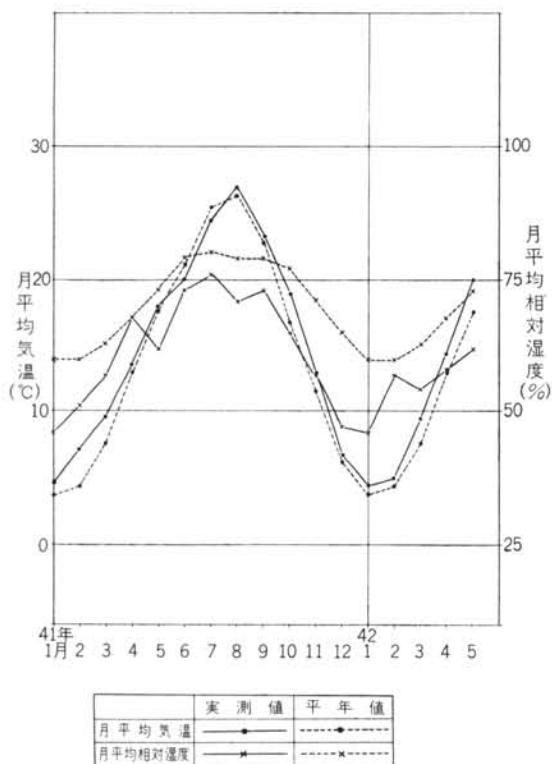


図-21 気象庁観測データ

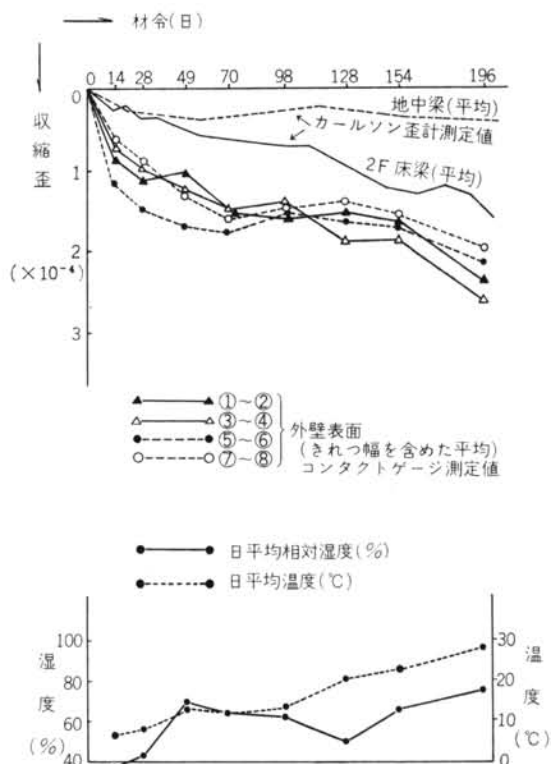


図-22 現場測定歪一覧図

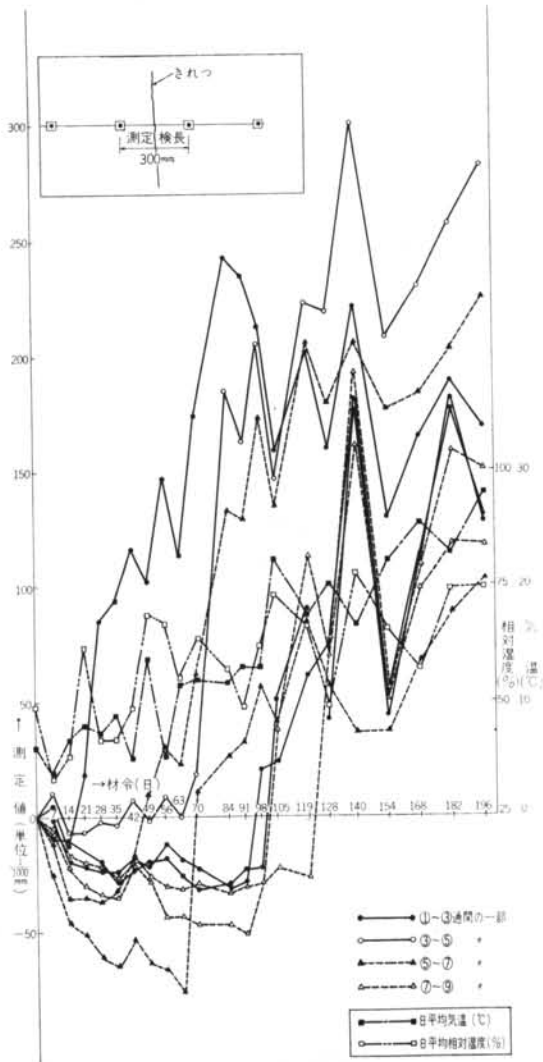


図-23 現場試験壁体のきれつ発生後の測定値の変動

4.8 現場測定自由収縮歪

現場コンクリート打設時に自由収縮試験体を作成した試験体の種類と個数はつぎのとおりである。

水平方向打込：無筋-2，丸鋼(13φ)-2，異型(13HD)-2，計6個(写真-12)。

垂直方向および45°傾斜打込丸鋼，異型各2個，各々計4個(写真-13, 14)である。養生は建物内で行なった(写真-10)。

図-24は測定結果を示す。測定値は温度補正済であるが、湿度の影響が小さくないことがわかる。同図には、参考として実験室で行なった結果(§2.)も入れた。

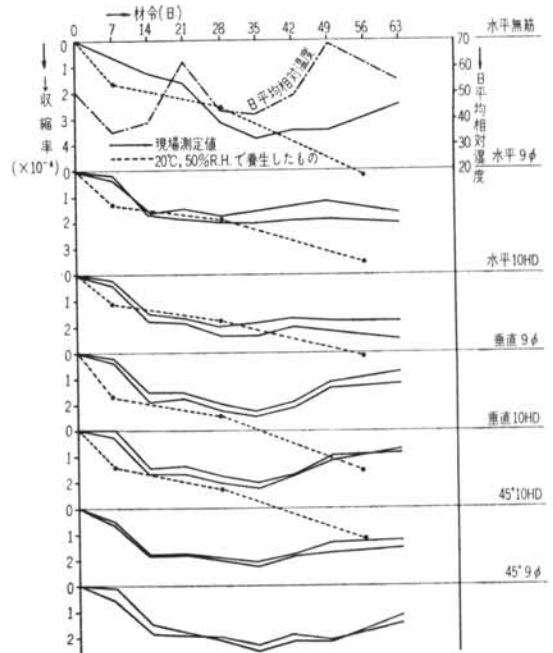


図-24 現場測定自由収縮歪

4.9 所見

●現場における自由収縮歪は湿度の影響を受けるため長期間の測定が必要である。(今回は現場の都合のため材令63日で中止した。)実験室測定の結果は、垂直方向打設の方が水平方向打設より、収縮率が大きくなっている⁸⁾が、現場測定の結果ではこの傾向があきらかでない。

●地中梁と2階床梁中心部の歪は、材令189日で各々 -36×10^{-6} 、 -134×10^{-6} (比率約1:4)、材令467日で -41×10^{-6} 、 -248×10^{-6} (同約1:6)、となり、材令によって比率が異なるが、いずれにしるこの大きな差が逆八字型きれつ発生の原因となる。

●地中梁と2階床梁にはさまれた壁の、階高中央部分の水平歪は、材令196日で -22×10^{-5} (みかけの歪)、きれつ幅を除外したとき -27.8×10^{-5} となり、一般に軸部よりも壁体の収縮の方が大きく、この差のためにもきれつが発生する。またこのことは、柱がいくらか中央に向かってわん曲していることを示す。

●壁には材令の経過にともないきれつが発生した(図-15~図-18)。きれつ幅を除外した壁の水平方向歪は材令196日で -27.8×10^{-5} で、自由収縮歪よりかなり小さく、拘束の影響を示している。

●きれつ幅の季節変動は最大0.275mmもあり、温湿度(特に温度)の測定を、きれつ幅の測定と併行して行なわないと無意味である。

●材令約8ヵ月(夏季)では配筋によるきれつ幅の差はあまりなく、きれつ幅合計では、丸鋼:1.303mm, 異型:1.045mmで異型がやや有利(表-10)である。

●本実験建物の平面図(図-10)をみると、試験を実施した外壁8スパンの方位は同一でない。日照の影響を考えると①~④通が一番不利、次が④~⑥通、⑥~⑨通が一番有利である。また断面図(図-11)に示すように外壁外側の一部は盛土され半地下室の状態になっているが、この盛土の高さが同一ではない(図-15~図-18)、乾燥面積を考えると、①通付近がもっとも大きく、⑨通付近はもっとも小さい。

以上の結果、乾燥収縮きれつに対してもっとも不利なのが①通付近で、もっとも有利なのが⑨通付近である。

図-15~図-18に示すきれつ幅は、材令約11ヵ月(冬季)と材令約18ヵ月(夏季)に測定したものであるが、きれつ幅は冬季の測定の方が大きかったので、材令約11ヵ月の冬季の測定結果を、配筋種別ごとにまとめたのが表-11である。これによると異型丸鋼を使用した場合、

通間	きれつを含めた 歪(みかけの歪)7.27に測 定したとき 材令196日 ($\times 10^{-4}$)	スパン L (mm)	⑧ $\epsilon \times L$ (mm)	⑨ $\epsilon \times L$ (mm)	⑧+⑨ (mm)	⑧+⑨とL から求めた 歪 ($\times 10^{-4}$)
①~②	-2.37	0.170	5,000	1.185	1.355	-2.71
②~③	-1.71	0.414	"	0.855	1.269	-2.54
③~④	-2.63	0.138	"	1.315	1.453	-2.91
④~⑤	-2.26	0.323	6,125	1.384	1.707	-2.78
⑤~⑥	-2.17	0.635	"	1.330	1.965	-3.21
⑥~⑦	-2.52	0.243	5,000	1.260	1.503	-3.01
⑦~⑧	-1.96	0.333	"	0.980	1.313	-2.63
⑧~⑨	-2.22	0.092	"	1.110	1.202	-2.40
			①~⑤ 平均			-2.73
	①~⑤ 計	1.045	⑤~⑨ "			-2.82
	⑤~⑨ 計	1.303	全平均			-2.78

表-10 材令約8ヵ月目の夏季に調査した数値

普通丸鋼に比較して、きれつ幅合計が約30%減少している。また、配筋角度を45°傾斜させた場合、従来の90°配筋と比較して、きれつ幅合計が約15%減少している。しかしながら、上記のきれつ発生条件の差を考えあわせると、異型鉄筋の使用、45°傾斜配筋の効果は、もし同一条件で実験が行なわれていれば、上記数値よりもすぐれた結果が期待される。

●45°傾斜配筋の効果として、建物端部の逆八字型きれつに対する抵抗が考えられる。図-15によると①~②通間で逆八字型きれつの分散効果がみられる。

●図-23は、現場試験壁体のきれつ発生前後の測定値の変動と測定日の平均気温、相対湿度を図表にしたものである。測定値の単位はマイクロン(1000分の1mm)であり、検長は300mmである。すなわち測定値30のとき歪量 1×10^{-4} 、測定値300のとき歪量 10×10^{-4} となる。きれつ発生前までは測定区間の収縮歪を示すが、きれつ発生後は、コンクリートの収縮歪に比較してきれつ幅の方が過大であるから、近似的に、測定値きれつ幅と考えられる。(この測定値は温度補正を行っていない)

さて、図-23によると、共通してみられることは、ある時期に測定値が急激に④側に移動している。この急激な増加がきれつ発生 of 時期である。

また、材令105日から128日にかけて、および材令128

通間	鉄筋	配筋角度	きれつ幅合計(mm)
①~③	10HD	45°	0.65
③~⑤	"	90°	0.75
⑤~⑦	9Φ	45°	0.90
⑦~⑨	"	90°	1.07

表-11 材令約11ヵ月(冬季)測定きれつ幅のまとめ

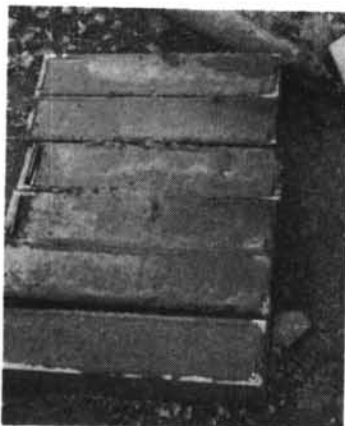


写真-12 自由収縮試験体(水平方向打設)



写真-13 自由収縮試験体(垂直方向打設)



写真-14 自由収縮試験体(45°傾斜打設)

日から154日にかけて測定値の急激な上下変動がみられる。ところでこの材令をみると、ちょうど逆の変動がみられる。したがって1度発生したきれつの幅は、気温によって大きな変動を受けることがわかる。なお、湿度との関係はあまりあきらかではない。

特に変動が大きいとみられる、材令140日と154日の測定値と気温の関係をみると、測定値は $-130 \times \frac{1}{1000}$ mm に対して気温は $+14^\circ\text{C}$ である。コンクリートの温度膨張係数を $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ とし1スパンあたり2本のきれつとすると、2,500mmの長のコンクリートが $-130 \times \frac{1}{1000}$ mm だけ増加するための温度差は 5.2°C となる。すなわち、 $+14^\circ\text{C}$ の気温の変動に対して、壁体とラーメンは等しい温度変動をせず、 5.2°C の温度差を生じたとみられる。(地中梁と2階床梁は温度が異なるのはもちろん、部材の厚さによる温度の差もある。)

§ 5. 検 討

図-25において

$A_0B_0 = A_1B_1 = A_2B_2 = h$ (階高, 梁心~梁心)

$B_0B_1 = B_1B_2 = A_0A_1 = A_1A_2 = l$ (スパン, 柱心~柱心)

柱 A_0B_0 , A_1B_1 , A_2B_2 の変化率を ϵ_C とすると

$A_0'B_0' = A_1'B_1' = A_2'B_2' = h(1 + \epsilon_C)$

梁 A_0A_1 , A_1A_2 の変化率を ϵ_B とすると

$A_0'A_1' = A_1'A_2' = l(1 + \epsilon_B)$

地中梁 B_0B_1 , B_1B_2 の変化率を $\epsilon_{B'}$ とすると

$B_0'B_1' = B_1'B_2' = l(1 + \epsilon_{B'})$

ただし変化率 ϵ_C , ϵ_B , $\epsilon_{B'}$ の符号はつぎのようにする。

膨張: \oplus

収縮: \ominus

対角線 $A_0B_1 = A_1B_2 = \sqrt{h^2 + l^2}$

対角線 $A_0'B_1' = \sqrt{h^2(1 + \epsilon_C)^2 + l^2(1 + \epsilon_{B'})^2}$

対角線 $A_1'B_2' = \sqrt{h^2(1 + \epsilon_C)^2 + l^2(1 - \epsilon_B + 2\epsilon_{B'})^2}$

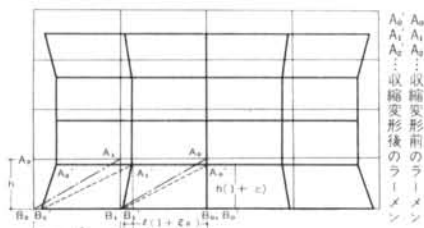


図-25

対角線 A_1B_2 が、対角線 $A_1'B_2'$ に変化するときの変化率を $\epsilon_{A_1B_2}$ とすると

$$\begin{aligned} \epsilon_{A_1B_2} &= \frac{A_1'B_2' - A_1B_2}{A_1B_2} \\ &= \frac{\sqrt{h^2(1 + \epsilon_C)^2 + l^2(1 - \epsilon_B + 2\epsilon_{B'})^2} - \sqrt{h^2 + l^2}}{\sqrt{h^2 + l^2}} \end{aligned}$$

$\frac{h}{l} = k$ とおくと

$$\epsilon_{A_1B_2} = \frac{\sqrt{k^2(1 + \epsilon_C)^2 + (1 - \epsilon_B + 2\epsilon_{B'})^2} - \sqrt{k^2 + 1}}{\sqrt{k^2 + 1}}$$

同様にして対角線 A_0B_1 の変化率を $\epsilon_{A_0B_1}$ とすると

$$\epsilon_{A_0B_1} = \frac{\sqrt{k^2(1 + \epsilon_C)^2 + (1 + \epsilon_{B'})^2} - \sqrt{k^2 + 1}}{\sqrt{k^2 + 1}}$$

スパンの拡大は容易であり、一般に $2N$ スパン (N は整数) のとき、対角線 $A_{N-1}B_N$ の変化率を $\epsilon_{A_{N-1}B_N}$ とすると

$$\begin{aligned} \epsilon_{A_{N-1}B_N} &= \frac{\sqrt{k^2(1 + \epsilon_C)^2 + [1 - (N-1)\epsilon_B + N\epsilon_{B'}]^2} - \sqrt{k^2 + 1}}{\sqrt{k^2 + 1}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

となる。

したがって、階高とスパンの比 k , および、柱、梁、地中梁の変化率 ϵ_C , ϵ_B , $\epsilon_{B'}$ がわかれば、任意のスパンの対角線方向の変化率がわかる。

さて今回の実験建物では

$l = 5,000$ mm

$h = 2,850$ mm

ゆえに $k = \frac{h}{l} = 0.57$

$\epsilon_C = -31.8 \times 10^{-5}$

$\epsilon_B = -13.4 \times 10^{-5}$

$\epsilon_{B'} = -3.6 \times 10^{-5}$

$N = 4$

である。

ラーメン端部①~②通間、⑧~⑨通間の対角線の変化率 ϵ は(1)式から計算される。

$\epsilon = 1.555 \times 10^{-4}$

対角線 $= \sqrt{l^2 + h^2} = \sqrt{2.85^2 + 5.00^2} = 5.75$ (m)

であるから、歪量は

$5.750 \times 1.555 \times 10^{-4} = 0.895$ mm

すなわち、対角線方向に0.895mm引き伸ばされている。ところで①~②通間のきれつの発生状態は0.3mm程度であるのは、異型 45° 傾斜配筋のため、コンクリートに引張破断に対する抵抗力がついたためとみられる。

しかし、対角線方向の引張歪は 1.555×10^{-4} 存在する

から、コンクリートの引張弾性係数を $2 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ とすると、コンクリートの収縮を考えなくても、引張応力度 $\sigma = 1.555 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^5 = 31.1 \text{kg/cm}^2$ となり、コンクリートの圧縮強度 $F_{28} = 180 \text{kg/cm}^2$ であるから、引張強度は、この $1/10$ 程度と考えられるから、引張破断はさげられない。

§ 6. 結 論

- (1) 現場における収縮歪ならびにきれつ幅は、温湿度の影響を大きく受けるため、長期間の測定が必要である。
- (2) 地中梁と2階床梁の収縮歪は大きな差があり、材令467日で約1:6の比率となった。この差が逆八字型きれつ発生の大きな原因となることを、計算式により確かめた。
- (3) 壁体の水平方向収縮率は、上下にある梁より大であった。このことは、柱がいくらか中央に向かってわん曲していることを示す。
- (4) 壁体の、きれつ発生時の水平方向収縮歪は、自由収縮率よりかなり小さく、拘束の影響を示している。
- (5) 鉄筋によるきれつ防止効果については、試験対象の外壁面が同一条件でなく、異型鉄筋および45°傾斜配筋

の壁の方が不利な条件にあったにもかかわらず、異型鉄筋を使用した場合、普通鉄筋に比較して、きれつ幅合計で約30%減、また、45°傾斜配筋は90°配筋に比較してきれつ幅合計で約15%減となったことは、これら配筋上の考慮がきれつ防止上有意であることを示す。

§ 7. 今後の問題点

今回の現場実験は、鉄筋の種類と配筋方法によるきれつ防止効果をみるのが目的であったが、きれつ発生そのものは避けられなかった。きれつ防止のためには、鉄筋に関しては“量の増加”が残されているが、経済性の点から補強箇所を選別せねばならない。設計上からは、他に、きれつ発生のしにくいスパンと階高の比、各部材断面の検討が必要であり、材料的には目下開発中の膨張性のセメントの使用法の検討が必要である。

＜謝 辞＞ 本研究の実施にあたっては、当所主任研究員鳥田専右氏のご指導をいただいた。

現場実験にあたっては、得意先である学校法人日本大学ならびに社内設計部、建築部各位のご協力をいただいた。ここに厚くお礼申しあげる次第である。

＜参考文献＞

- 1) 拙論：“コンクリートの乾燥収縮に及ぼす要因効果に関する研究” 清水建設研究所報 Vol.6 1965.10 他
- 2) 坂、六車：“かた練りコンクリートの硬化収縮ひずみ” セメント技術年報 1960年 他
- 3) T.C. HANSEN 他：“Influence of Size and Shape of Member on the Shrinkage and Creep of Concrete” J. of A.C.I. Feb. 1966
- 4) G. Pickett：“Shrinkage Stresses in Concrete” J. of A.C.I. Jan. 'Feb. 1946
- 5) 大野和男他：“鉄筋コンクリートの乾燥収縮に及ぼす鉄筋量の影響について” 日本建築学会北海道支部第23回研究発表会 昭和39年3月 他
- 6) 椎名国雄他：“乾燥、湿潤ともなうコンクリートの内部湿度分布ならびに変形に関する研究” 日本建築学会論文報告集 昭和41年大会号 他
- 7) 波木他：“コンクリートの収縮拘束試験の意義と実用性” セメント技術年報 昭和39年 他
- 8) 拙論：“コンクリートの乾燥収縮におよぼす打込方向と補強筋の影響” 日本建築学会関東支部第38回発表会 昭和42年6月
- 9) 横尾他：“鉄筋コンクリート構造の収縮亀裂の類型とそれに対する若干の考察（その2 考察）” 日本建築学会近畿支部 昭和31年2月
- 10) 狩野春一他：“コンクリートの引張強度、伸びおよびクリープ” 日本 A.C.I. 研究発表講演会 1964年2月
- 11) 狩野・仕入：“コンクリートの収縮拘束きれつ発生試験装置に関する研究” 日本建築学会論文報告集第66号 昭和35年10月