

コンクリートの体積変化におよぼす外気温の影響（第2報）

—コンクリート内部ひずみの変動—

中西正俊

§ 1. まえがき

前報¹⁾では、コンクリートの体積変化、ひびわれ発生の原因として温度変化をとりあげ、外気温の日変化、年変化、その他の変化によるコンクリートの表面ならびに内部温度について、熱伝導理論を中心とした推定を行なう一方、理論上の結論に対応させて実測結果の検討を行なった結果を報告した。

この結果、コンクリート構造物に生じる温度差は、地中部分と地上部分とを比較すると、外気温の年変化ではほとんど差はないが、日変化や寒波の襲来ではかなりの差があることが理論的にも実際にもあきらかとなった。

したがって外気温の日変化や急激な低下によって建物の地上第1層を中心として内部応力が発生し、ひびわれ発生の原因となる。

また、コンクリートの乾燥収縮が、地上部分と地中部分とでかなりの差があり²⁾、前記の温度差によるひずみの差に累加されることから、地上第1層での検討は、温度変化と乾燥収縮をあわせてなされなければならない。

ここでは、温度測定と同時にを行なった長さ変化測定結果のうち、打設から材合1年までのみかけのひずみについて報告し、温度変化を含めた気温条件との関連について検討を加えたものである。

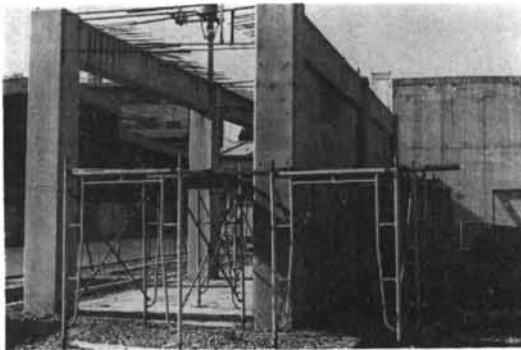


写真1

§ 2. 実験計画

写真1に示すような、2次元、2スパン、壁つきおよび壁なしの実大ラーメンを、当社研究所塩浜分室（所在地：東京都江東区塩浜2-9-5）構内に作成し、各種の測定を行なった。これは地上第1層の壁体の温度、ひずみならびにひびわれ発生を検討するためのもので、壁なしラーメンは壁つきラーメンと同一寸法で、壁版の収縮が柱・はりにどの程度影響をおよぼすかを検討するため設置した。なお2次元としたのは解析の便宜のためである。

2.1 試験体の形状寸法

試験体の形状寸法は通常のRC建築によく用いられる寸法とし、柱は50cm角、はりには30×60cm断面、地中ばりは30×90cm断面、壁厚は15cm、シングル配筋（10HD@200）とした。なお2つのラーメンの転倒を防止するため50×90cm断面の地中ばりでつないだ。

基礎伏ならびに断面詳細を図1～3に示す。

2.2 試験体作成工事

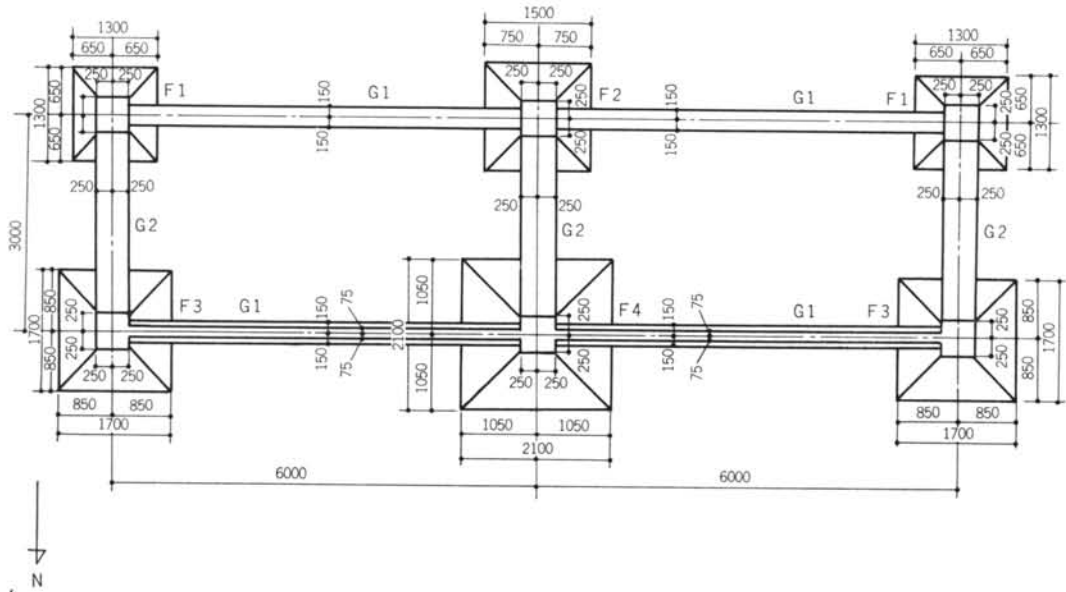
基礎・地中ばりは昭和44年2月15日に、地上部分は同3月10日にコンクリート打設を行なった。地上部分には厚さ12mmの合板を使用した。

なお、周辺の拘束を受けない壁ダミー（屋外放置）ならびに10×10×40cm JIS 試験体（屋外放置ならびに恒温恒湿室養生）を同一コンクリートにより作成した。

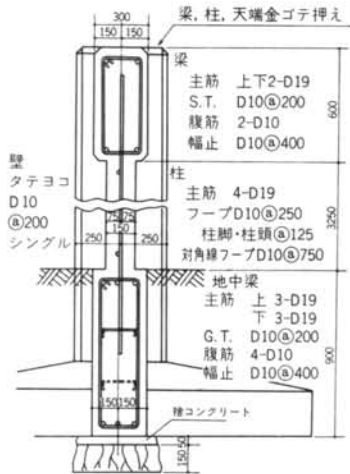
使用材料のうち、セメント、骨材、およびコンクリートについてはすでに報告した¹⁾。鋼材については表1に示す。

	降伏点kg/mm ²	引張強度kg/mm ²	伸び%
D10	36	53	27
D13	43	62	22.5
D19	41	60	22

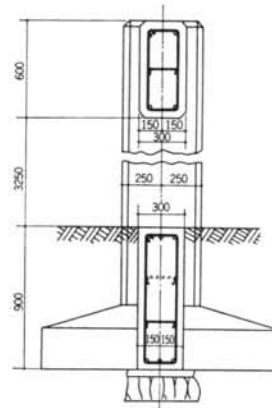
表1 使用した鋼材の試験成績



図一 基礎伏図



図二 断面詳細図 (A ラーメン)



図三 断面詳細図 (B ラーメン)

2.3 測定方法

コンクリートの長さ変化試験方法としては、JIS A 1124 (ダイヤルゲージ方法) および JIS A 1125 (コンパレーター方法) があるが、ここではカールソン歪計 (共和電業社製、検長 150mm) によって測定した。

ひずみの基長は、地上コンクリートの材令 3 日目 (昭和 44 年 3 月 13 日) とした。なお型枠は材令 7 日目に取り外し、はり下の支柱は材令 28 日まで保持した。

測定は原則として休日を除く毎日午前 10 時頃に行なった。カールソン歪計の総数は 60 個であり、測定に要した時間は平均 32 分間であった。また、今回報告分は、昭和 44 年 3 月 13 日から昭和 45 年 3 月 10 日までの 363 日間に測定したものであり、測定回数は 285 回である。

2.4 測定位置の決定

(1) 地中ばり・はり

実大建物による実測結果²⁾の一部を表一 2 に示す。これによるとスパン中央のひずみ (No. 2, 8) は、スパンの $\frac{1}{4}$ の位置のひずみ (No. 1, 3, 7, 9) よりやや大きいようで、曲げによる影響ではないかと思われる。このため本実験では地中ばり、はりのひずみ測点はすべてスパンの $\frac{1}{4}$ の位置とした。

(2) 柱

柱は地中ばりおよびはりにならって、ラーメン軸の高さの $\frac{1}{4}$ (上、下から) とした。

(3) 壁

まえがきで述べたように地中部分と地上部分との収縮

材令日	1	2	3	7	8	9
14				-33	-55	-44
21	-11	-26	-26	-28	-47	-16
28				-48	-57	-44
35				-47	-49	-34
56	-22	-39	-44	-64	-75	-59
98	-10	-29	-21	-85	-117	-65
112	-10	-26	-28	-85	-125	-67
126				-109	-145	-90
135				-103	-175	-100
147				-135	-219	-108
161	-17	-35	-34	-135	-204	-114
175				-122	-187	-107
189	-36	-37	-35	-145	-189	-121
203				-161	-212	-126
467	-50	-61	-56	-248	-330	-223

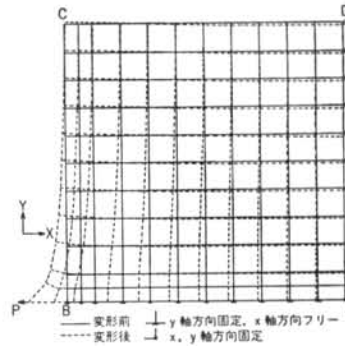


図-4 平板の1点に水平力を加えた場合の弾性変形

表-2 カールソン歪計測定結果 (単位 10^{-6})

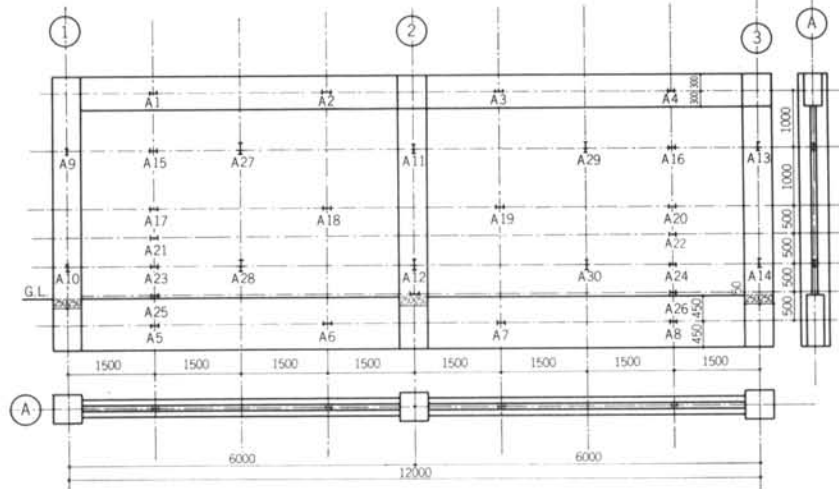


図-5 ひずみ測定位置 (Aラーメン)

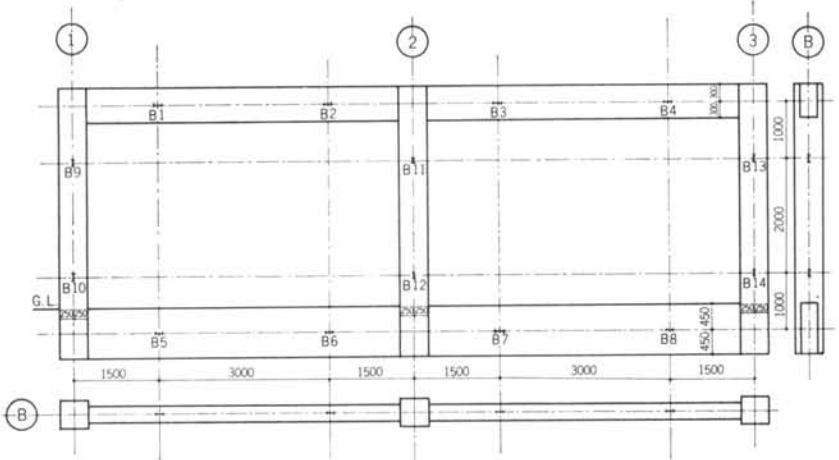


図-6 ひずみ測定位置 (Bラーメン)

の差によって地上第1層の壁体に内部応力が生ずると予想される。これは、平板の一辺に引張力を加えたときの応力・ひずみ状態に近いものと考えられる。図-4には厚さ一定の平板ABCDのA点を固定し、辺ABおよびADは直角方向固定、水平方向フリー、辺CDおよびBCはフリーとして点Bに水平力Pを加えたときの弾性変形を、有限要素法によって解いた結果を示す。これによると、加力点に近い部分の変形が著しく大きいことがわかる。

したがって、本実験において壁の測点は下半分を密に配置した。

壁つきラーメンの測定位置を図-5に、壁なしラーメンの測定位置を図-6示す。

2.5 壁ダミーおよびJIS試験体等

(1) 壁ダミー

壁つきラーメンの壁と同一厚、同一配筋のダミー(610×610×150mm) 2個を作成し、壁つきラーメンの附近に置き長さ変化を測定した。図-7に示すようにカールソン歪計はダミー1個につき4ヵ所(水平2, 垂直2)設置した。実大試験体の壁と同一条件で養生するため、乾燥面は2面とした。

(2) JIS試験体

JIS試験体(400×100×100mm)を2組(1組3個)作成し、1組は壁ダミーと同様に屋外に置いた。1組は1週間21±3℃水中養生の後、恒温恒湿室(21±3℃, 45±5% R.H.)で養生した。なお測定はカールソン歪計で行なった(図-7)

(3) 恒温室で材令4年を経過した小型試験体

気象条件の変化による影響をみるため、すでに乾燥収縮が終了したとみられる小型試験体を屋外(実大試験体の附近)に放置し、上記各種試験体と同時に測定を行なった。この試験体のコンクリートの調査を表-3に、形状ならびにカールソン歪計設置位置を図-8に、恒温恒湿室(21±3℃, 45±5% R.H.)における測定結果を図-9に示す。

予定スランブ(cm)	W/C(%)	S/A(%)	重量(kg/cm ³)			
			セメント	細骨材	粗骨材	水
22	70	51	332	986	742	233

注) セメント アサノ普通ポルトランド
 碎石 20mm以下
 川砂 5mm以下

表-3 コンクリート調査表

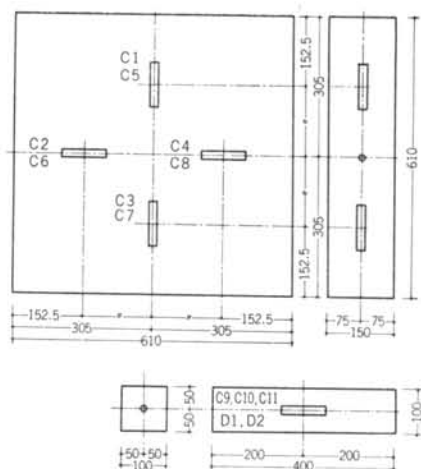


図-7 壁ダミーおよびJIS試験体

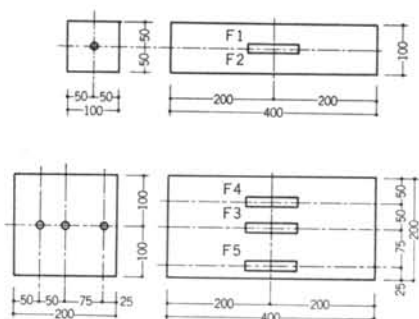


図-8 試験体の形状とひずみ計設置位置

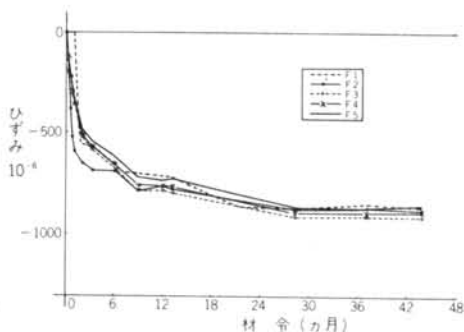
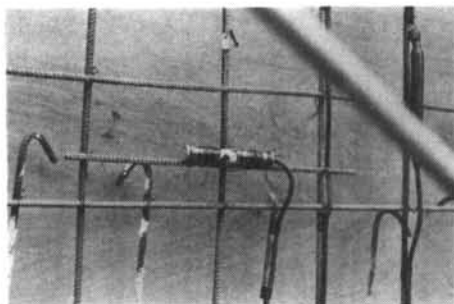


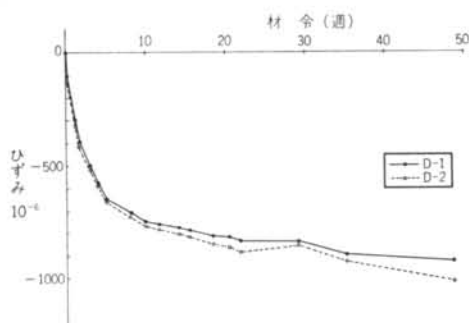
図-9 測定結果

2.6 カールソン歪計の設置

長さ変化測定用のカールソン歪計はコンクリート打設直前に設置した。(写真-2)



写真一2



図一10 J I S 試験測定結果

No	位 置	44. 3. 13		45. 3. 9	
		T(°C)	S($\times 10^{-6}$)	T(°C)	S($\times 10^{-6}$)
1	A ラーメン 梁	1.70	0	0.85	-270
2	" 地中梁	3.42	0	3.90	-23
3	" 柱	4.32	0	2.36	-252
4	" 壁水平(その1)	2.42	0	1.98	-301
5	" " (その2)	2.30	0	2.22	-300
6	" " (その3)	2.41	0	1.70	-283
7	" " (その4)	2.05	0	1.91	-291
8	" " (その5)	2.17	0	2.79	-300
9	" 壁垂直	2.54	0	2.23	-358
10	JIS 試験体	-0.02	0	3.10	-236
11	20×20×40試験体*	0.02	0	2.29	49
12	B ラーメン 梁	1.89	0	1.80	-192
13	" 地中梁	4.09	0	5.41	28
14	" 柱	4.17	0	2.92	-216
15	壁ダミー	1.47	0	2.63	-473
16	JIS 試験体*	0.03	0	3.47	96

* 材令4年後のもの

表一4 材令1年におけるみかけのひずみSと温度T(平均値)

§ 3. 測定結果

3.1 JIS 試験

図一10に示す。

3.2 屋外試験

材令約1年における結果を各位置の平均値として表一4に示す。なお、各材令における測定値は測定点が多いため、表一5に示すように19組に分け各々について平均値を求め、さらに比較の便宜のため表一6に示す組み合わせに従って図一11～12に示す。

ただし、図一11には、カールソン歪計により算出したコンクリート内部温度「T」を、図一12には、カールソン歪計により算出したみかけのひずみ(温度補正を行っていないもの)「S」を示す。

No	測定点の数	測定点(カールソン歪計)の記号	内 容	備考
1	4	A1, A2, A3, A4	A ラーメン梁	
2	4	A5, A6, A7, A8	A ラーメン地中梁	
3	6	A9, A10, A11, A12, A13, A14	A ラーメン柱	
4	2	A15, A16	A ラーメン壁水平(その1)	
5	3	A17, A18, A20	" (その2)	A19は不良
6	2	A21, A22	" (その3)	
7	2	A23, A24	" (その4)	
8	2	A25, A26	" (その5)	
9	4	A27, A28, A29, A30	A ラーメン壁垂直	
10	3	C9, C10, C11	JIS 試験体(10×10×40cm)	
11	3	F3, F4, F5	20×20×40cm試験体(材令4年後のもの)	
12	4	B1, B2, B3, B4	B ラーメン梁	
13	4	B5, B6, B7, B8	B ラーメン地中梁	
14	6	B9, B10, B11, B12, B13, B14	B ラーメン柱	
15	7	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8	壁ダミー(61×61×15cm)	C6は不良
16	2	F1, F2	JIS 試験体(材令4年後のもの)	
17	15	A1~A4, A15~A26(除A19)	A ラーメン地上水平	
18	10	A9~A14, A27~A30	A ラーメン地上垂直	
19	11	A15~A26(除A19)	A ラーメン壁水平	

注1) 測定点の記号は図一5, 6, 7に示す

注2) A ラーメンとは壁つき, B ラーメンとは壁なしのものである

表一5 屋外試験体測定点の組み合わせ

表-5に示したNo	内 容	T	S
1, 2	Aラーメンの梁と地中梁		
1, 3	Aラーメンの梁と柱	図-11-1	図-12-1
4, 5, 6, 7, 8	Aラーメンの壁(水平)		
1, 12	A, B両ラーメンの梁		
2, 13	" 地中梁		図-12-2
3, 14	" 柱		
11, 16	材令4年後のもので型状による差		
10, 15	小型試験体の型状による差		図-12-3
10, 16	JIS試験体の材令4年後のものとの新しいもの		
17, 18	Aラーメンの地上水平と地上垂直	図-11-2	図-12-4

注) T, Sは本文中に示す

表-6 測定結果の組み合わせ

§ 4. 検討 I (測定位置による差)

4.1 材令1年後のみかけのひずみ

表-4に材令約1年後における全点の測定結果をまとめたが、測定基長(44. 3.13)と材令約1年後における測定日(45. 3. 9)とは、各位置のコンクリート温度がほぼ等しいため、みかけのひずみSには温度による影響はほとんどない。すなわち温度以外の要因による収縮ひずみと考えてよい。これらについて検討するとつぎのようである。

(1) Aラーメン(壁つきラーメン)

はりのひずみは -2.70×10^{-4} 、地中ばりは -0.23×10^{-4} 、柱は -2.52×10^{-4} 、壁(水平方向)は $-2.83 \sim -3.00 \times 10^{-4}$ 、壁(垂直方向)は -3.58×10^{-4} であり、地中ばりのひずみは地上部分の $1/10$ 以下である。なお、壁水平方向で高さによる差はない。

(2) Bラーメン(壁なしラーメン)

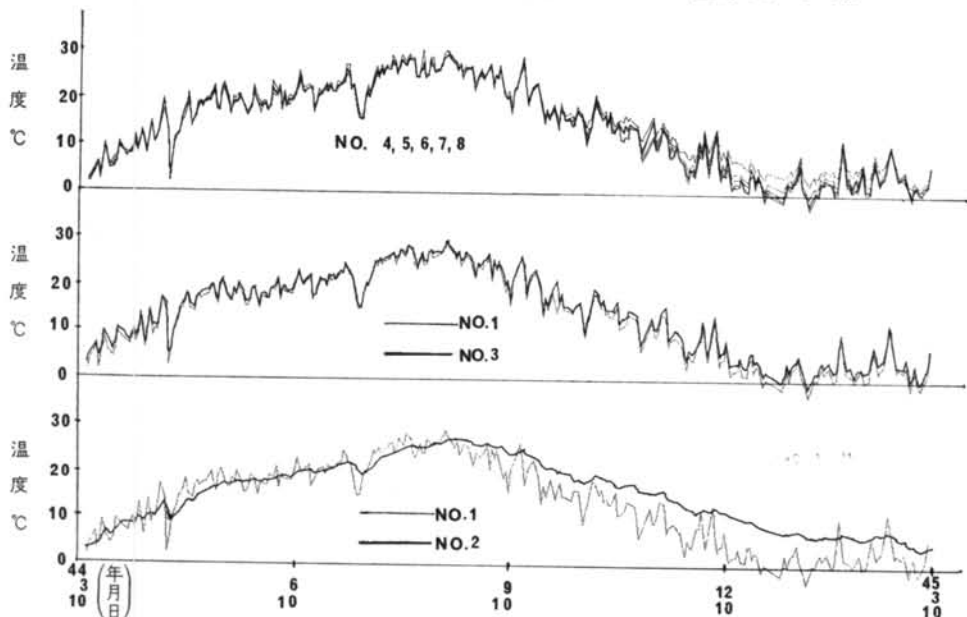


図-11-1 測定結果(コンクリート温度T, その1)

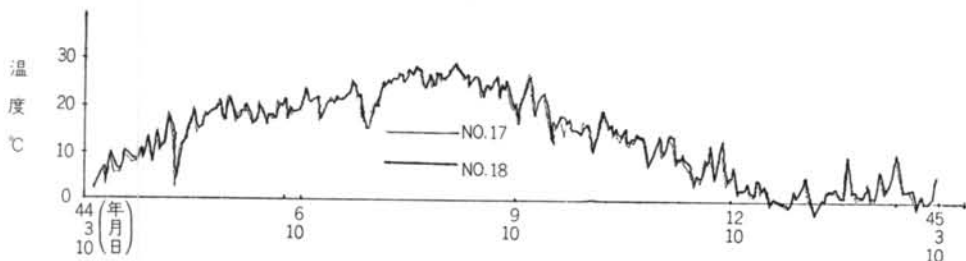


図-11-2 測定結果(コンクリート温度T, その2)

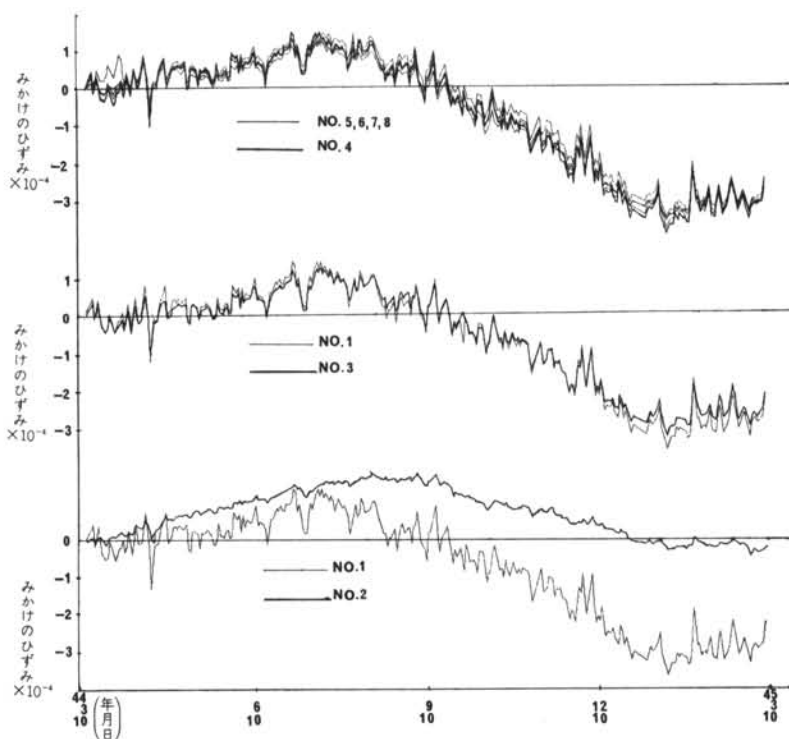


図-12-1 測定結果 (みかけのひずみS, その1)

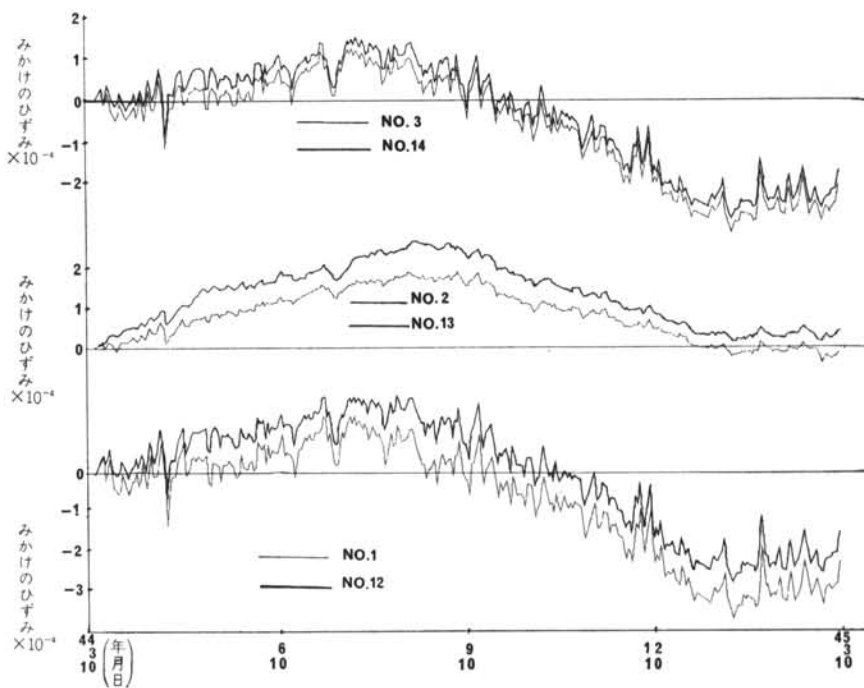


図-12-2 測定結果 (みかけのひずみS, その2)

はりのひずみは -1.92×10^{-4} 、地中ばりは -0.28×10^{-4} 、柱は -2.16×10^{-4} であり、Aラーメンと比較して収縮はいずれも小さい。

Aラーメンでは、壁の存在がはり、柱、地中ばりにも影響を与えていることがわかる。

(3) 壁ダミー

Aラーメンの壁と同一厚、同一配筋、同一条件養生の

壁ダミーのひずみは -4.73×10^{-4} であり、Aラーメンの壁のひずみ $-2.83 \sim -3.52 \times 10^{-4}$ と比較してかなり収縮は大きい、柱、はり等にかこまれた壁はかなり拘束を受けていることがわかる。

(4) 屋外養生 J I S 試験体

$10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ J I S 試験体を屋外に放置したときのひずみは -2.36×10^{-4} であり、壁ダミーより収縮は小さ

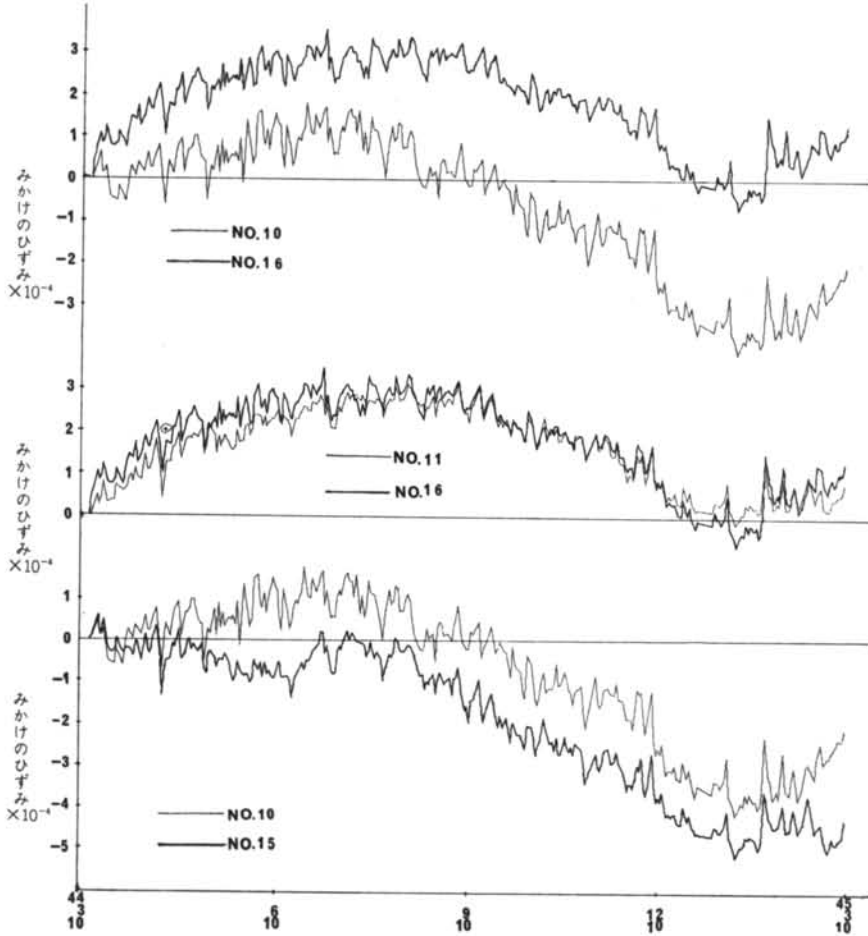


図-12-3 測定結果 (みかけのひずみS, その3)

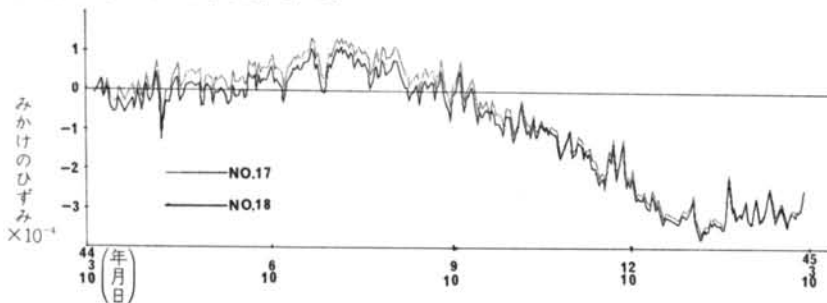


図-12-4 測定結果 (みかけのひずみS, その4)

い、これは従来の研究とは逆の結果であり、今後検討を要する。

(5) 材令4年を経過した小型試験体

昭和40年春作成し、すでに乾燥収縮が終了したと思われる小型試験体を屋外放置した結果、材令1年後に収縮の増大はみられない。

4.2 測定期間中のコンクリート温度とみかけのひずみ

図-11, 12の結果について検討するとつぎのとおりである。

(1) コンクリート温度

・Aラーメン：はりとは地中ばりとはあきらかに差がある、前半(春→夏)は地中ばりの方が温度は低く、後半(秋→冬)では逆になっている。はりとは柱とは、前半はほとんど差がなく、後半は柱ははりより1~2℃高いようである。壁水平方向の位置による差は前半はほとんど差がなく、後半は最高と最低で3~6℃の差がみられ、G. L.に近い方が温度は高い。

Aラーメンを総括すると地中ばりは柱、壁、はりとは比較して著しく異なる。

・Bラーメン：図は省略した。傾向はAラーメンと同様である。

・その他：図は省略した。特異な点はない。

(2) みかけのひずみ

・Aラーメン：はりとは地中ばりとは著しく異なり、最大 3×10^{-4} 程度の差がみられる。はりとは柱とはあまり差はないようである。壁水平方向の位置による差はない。すなわちG. L.に近い方がひずみが小さいという傾向はない。地上水平より地上垂直の方がやや収縮が大きいようである。

総括すると、コンクリート温度と同様地中ばりは地上部分と比較すると著しく異なる。

・AB両ラーメンの差：はりではAラーメンはBラーメンと比較して約 1×10^{-4} 収縮側にある。地中ばりも同様である。柱ではAラーメンはBラーメンよりわずかに収縮側にある。

・材令4年後の小型試験体：200×200×400 試験体は100×100×400 試験体よりも変動幅は小さいようであるが、全体としてはほとんど差はない。

・J I S試験体と壁ダミー：後者は前者より $1 \sim 2 \times 10^{-4}$ 程度収縮側にある。

・J I S試験体：材令4年後のものとは新しいものとはあきらかに差がみられ、後者は前者より最大 3×10^{-4} 程度収縮側にある。

§ 5. 測定期間中の気象データ

測定期間(昭和44年3月10日~昭和45年3月10日)中の気象データは東京管区気象台(東京都千代田区大手町1-7)が観測したものを使用した。

それらにはつぎのようなものである。

- 気 圧(海面) 日平均(4回)
- 気 温 日平均(8回)
- 〃 最高
- 〃 最低
- 蒸気圧 日平均(4回)
- 相対湿度 日平均(4回)
- 〃 最小
- 風 速 24時間平均
- 最大風速
- 〃 方向
- 雲 量 日平均(4回)
- 降 水 量 24時間合計
- 日照時数 日合計
- 天気概況 06時~18時
- 〃 18時~翌日06時

注) 日平均は

8回は 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24

4回は 3, 9, 15, 21 各時の平均である。

このうち、印をつけた気圧、気温、相対湿度、風速、雲量、降水量ならびに日照時数についてひずみ測定結果との関連をしらべることにした。これは、2.3で述べたように測定を行なったのが午前10時頃であり、気温は一日中のほぼ平均を示すといわれている。そのため気温はじめその他の気象データは平均値を用い極値は除いた。また、天気についても数量化が困難なため除いた。

関連をしらべるために用いた8種類の気象データをプロットしたものを図-13に示す。

また、この8種類の気象データの相関行列を表-7に示す。

	気 圧	気 温	蒸気圧	相 对 湿度	風 速	雲 量	降 水 量	日 照 時 数
気 圧		-0.303	-0.322	-0.264	-0.219	-0.231	-0.217	0.178
気 温			0.903	0.339	-0.069	0.049	-0.060	0.043
蒸 気 圧				0.643	-0.054	0.248	0.148	-0.208
相 对 湿 度					-0.015	0.547	0.506	-0.607
風 速						0.027	0.216	0.050
雲 量							0.245	-0.826
降 水 量								-0.343
日 照 時 数								

注) * 危険率5%で有意 $|r| \geq 0.132$

** 危険率1%で有意 $|r| \geq 0.172$

表-7 相関行列(気象データ, S44.3.10~S45.3.10)

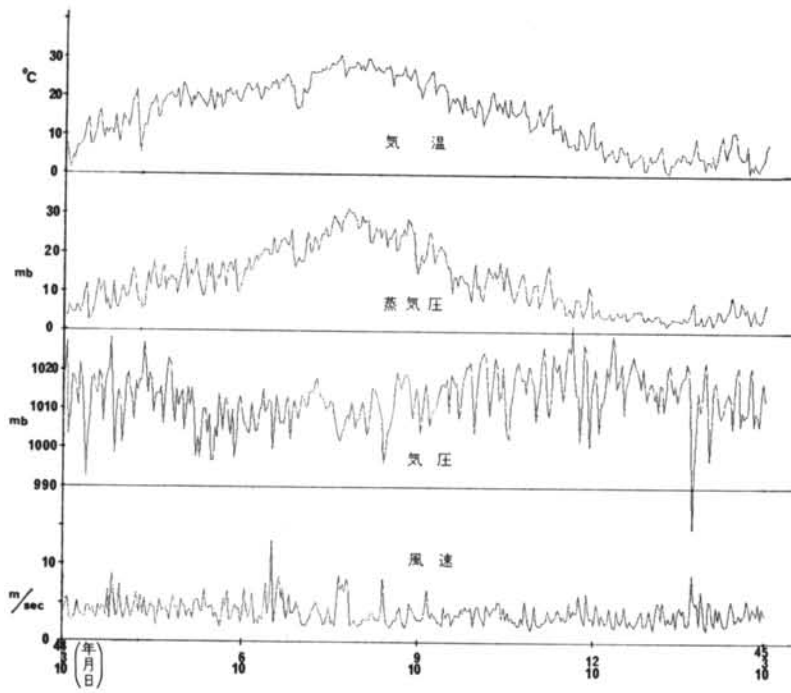


図-13-1 気象データ (その1)

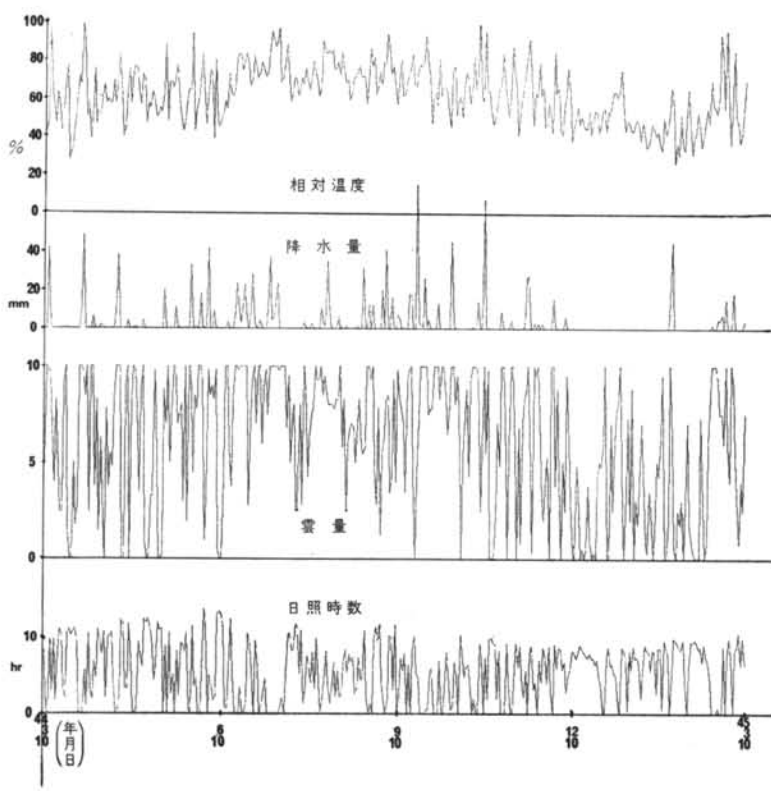


図-13-2 気象データ (その2)

§ 6. 検討Ⅱ（気象データとの単相関）

6.1 カールソン歪計で測定したコンクリートのみかけのひずみSと気温との関係

No.17（測点数15の平均，Aラーメン地上水平，表-5参照）について，Sと気温との関係の散布図ならびに一次回帰直線を図-14に示す。

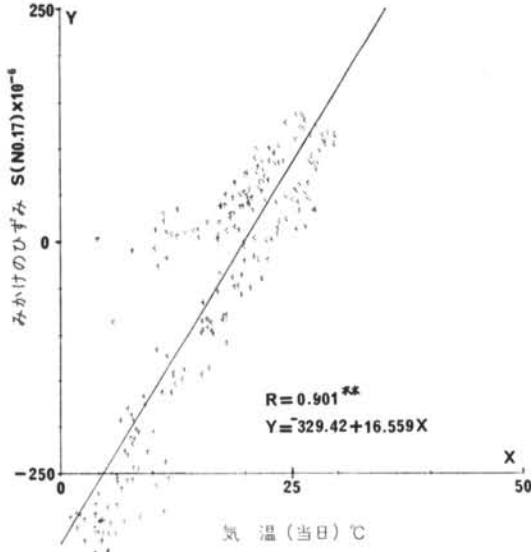


図-14 TならびにSと気温との相関係数

6.2 カールソン歪計で測定したみかけのひずみの当日の値と前日の値との差DSと気象データとの関係

図-12に示したようにみかけのひずみSは複雑な変化を示している。したがって，みかけのひずみSそのものよりも差をとって気象データとの関係を見ることにした測定位置20（6.1.と同様）について8種類の気象データとの相関係数を図-17に示す。

相関係数rの有意限界 t_0 は，標本の大きさをNとすると

$$t = \sqrt{N-2} \cdot \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}$$

の分布が自由度N-2のt分布であることから，危険率 α を指定すれば，自由度N-2のt分布で

$$Pr\{t_0 < |t|\} = \alpha$$

なる限界 t_0 が定まる。

ここで測定回数は285回であるが，前日との差をとるため，休日等の欠測の場合はデータが使用できないため2日間連続した測定回数は219回である。N=219について， $\alpha=0.05; 0.01$ のときの値はつぎのようである。

$$Pr\{0.132 < |t|\} = 0.05 \quad (5\% \text{ 有意限界})$$

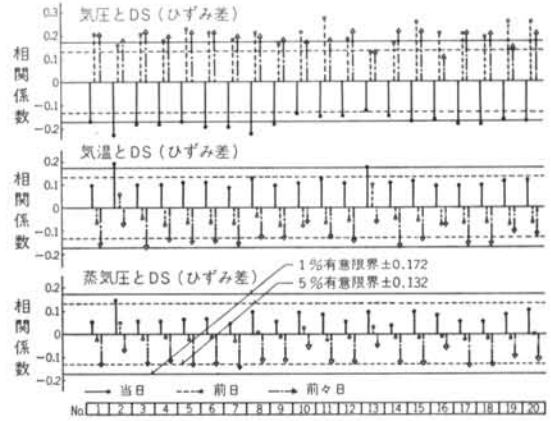


図-15-1 ひずみ差DSと気象データとの相関係数（その1）

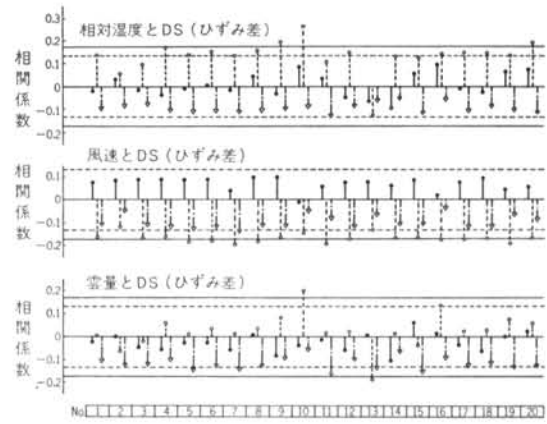


図-15-2 ひずみ差DSと気象データとの相関係数（その2）

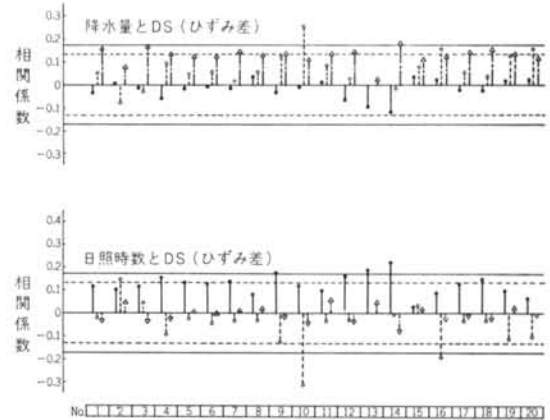


図-15-3 ひずみ差DSと気象データとの相関係数（その3）

$Pr\{0.172 < |t| \} = 0.01$ (1%有意限界)

図中に5, 1%有意限界を各々点線, 実線で示す。
これらによるとつぎのことがいえる。

(1) 気圧との相関

当日の気圧とはいずれも負の相関を示し, 大部分が有意である。前日および前々日の気圧とはいずれも正の相関を示し, これも大部分が有意である。

(2) 気温との相関

有意を示すものは少ない。

(3) 蒸気圧との相関

有意を示すものは少ない。

(4) 相対湿度との相関

前日の値との間に正の相関がみられ, 地中ばりを除いてすべてが有意である。当日および前々日の値との間に有意なものはない。

(5) 風速との相関

前日の値との間に負の相関がみられ, 地中ばりを除いてすべてが有意である。当日および前々日の値との間に有意なものはない。

(6) 雲量との相関

前日の値との間に一部有意を示すものがみられるが, 全体として一定の傾向はみられない。

(7) 降水量との相関

一般的には前々日の値との間に有意な正の相関を示すものが多いが, J I S 試験体 (No.10, 16) では前日の値との間に有意な正の相関を示す。これによると部材の大きさによって降水量の影響があらわれる時期が異なることがわかる。

(8) 日照時数との相関

前々日の値との間に有意を示すものはない。

当日の値との間に有意(正)を示すものがいくらかある。前日の値との間に有意(負)を示すものは J I S 試験体 (No.10, 16) のみである。

以上をまとめるとつぎのようである。

気象データ	区分		
	当日	前日	前々日
気 圧	-	+	+
気 温			
蒸 気 圧			
相 対 湿 度		+	
風 速		-	
雲 量			
降 水 量			+
日 照 時 数			

<半数以上に有意がみられた相関係数の符号>

6.3 みかけのひずみ差DSと気象データ差との関係

6.2 によるとみかけのひずみ差DSと気象データ個別の値(当日, 前日, 前々日)との相関は有意なものもあるが全般的には相関係数は小さい。また, 当日と前日の値で符号が逆になるものもあるため, 気象データについても差をとり相関関係を見ることにした。差をとる気象データは, 気圧, 気温, 蒸気圧および相対湿度の4種類とした。風速, 雲量, 降水量および日照時数は測定値そのものがひずみ差に関係があると考えられるため特に差はとらなかった。

測定位置20(6.1と同様)について, 前記4種気象データ差との相関係数を図-16に示す。

ただし, 差はつぎの2種類とした。

1. 当日と前日との差
2. 前日と前々日との差

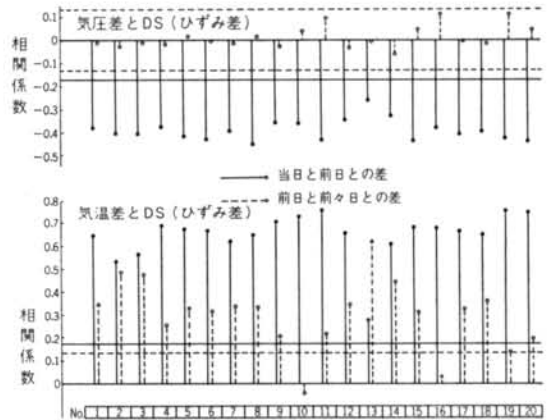


図-16-1 ひずみ差DSと気象データとの相関係数(その1)

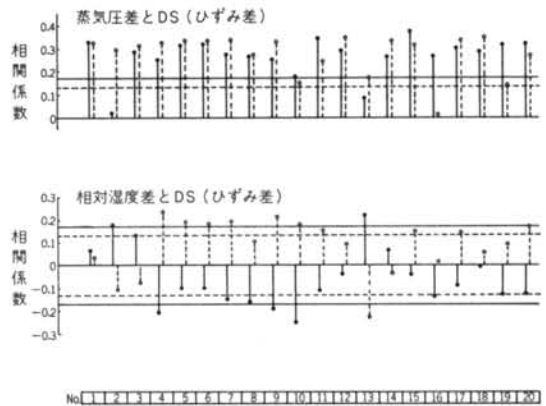


図-16-2 ひずみ差DSと気象データとの相関係数(その2)

これらによるとつぎのことがいえる。

(1) 気圧差との相関

当日と前日の気圧差とみかけのひずみ差DSとの相関(負)はいずれも危険率1%で有意であるが、前日と前々日の気圧差との相関はいずれも有意でない。

(2) 気温差との相関

この報告中にとりあげた相関係数の中でこれが一番大きい値を示す。特に当日と前日の気温差との相関(正)はいずれも危険率1%で有意で、相関係数も0.6~0.7と大きい。また、前日と前々日の気温差との相関(正)もJ I S試験体(Na10, 16)を除きいずれも有意である。

(3) 蒸気圧差との相関

当日と前日の蒸気圧差との相関(正)は地中部分(Na 2, 13)を除きいずれも危険率1%で有意である。また前日と前々日の蒸気圧差との相関(正)も小型試験体(Na 10, 15, 16, 19)を除きいずれも危険率1%で有意である。

(4) 相対湿度差との相関

小型試験体(Na.10, 16, 19)と実大試験体の壁(Na 4 ~ 9)では、当日と前日の相対湿度差との相関は負で、前日と前々日のそれは正である。しかし約半数は有意でない。実大試験体の地中部分(Na. 2, 13)、柱(Na. 3, 14)等は符号が逆になっている。

以上をまとめるとつぎのようである。

区分		気象データ	
		当日と前日との差	前日と前々日との差
気象データ	気圧	-	
	蒸気圧	+	+
	相対湿度	+	+

<半数以上に有意がみられた相関係数の符号>

またつぎの2つ

Na.16 (測点数2の平均, 材令4年後のJ I S試験体)

Na.17 (測点数15の平均, Aラーメン地上水平)

について、当日と前日の気温差とみかけのひずみ差DSとの関係をプロットしたもの、ならびに一次回帰直線を図-17, 18に示す。

§ 7. 検討Ⅲ (気象データとの多重回帰, 多重相関)

7.1 序

検討Ⅱの結果によると、収縮ひずみ差DSは多くの気象データならびにその差に影響されるから、有意な相関を示す、すべてのデータとの関係をみる必要がある。

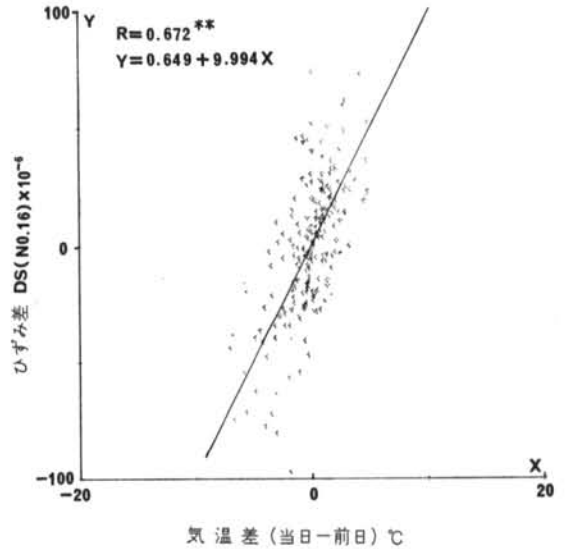


図-17 ひずみ差DS (No.16) と気象データ差の散布図, 一次回帰直線

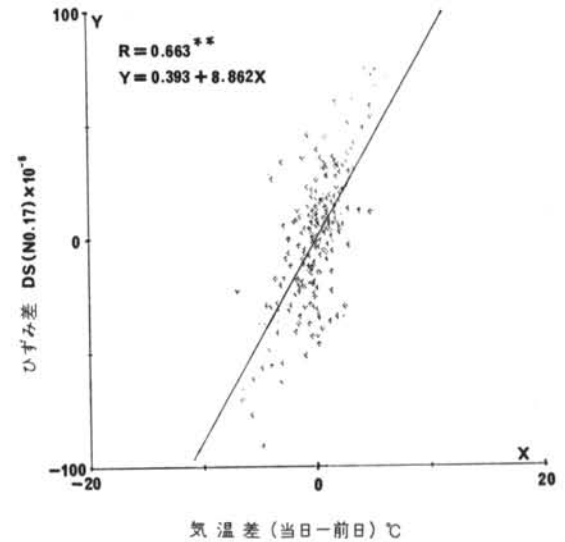


図-18 ひずみ差DS (No.16) と気象データ差の散布図, 一次回帰直線

7.2 xiの決定

みかけのひずみ差DSと気象データとの相関をつぎの4つのDSについてしらべた結果を表-8に示す。

Na.10 J I S試験体

Na.15 壁ダミー

Na.16 J I S試験体 (材令4年後のもの)

Na.17 Aラーメン地上水平

この結果危険率1%で有意なもの(・印)をとりあげxiとした。

区 分	No. 10 JIS試験体 (10×10×40cm)			No. 15 壁ダミー (61×61×15cm)			No. 16 JIS 試験体 (材令4年 後のもの)			No. 17 Aラーメン地上水平		
	当日	前日	前々日	当日	前日	前々日	当日	前日	前々日	当日	前日	前々日
気 圧	-0.142 [*]	0.210 ^{**}	0.171 [*]	-0.171 [*]	0.255 ^{**}	0.212 ^{**}	-0.162 [*]	0.208 ^{**}	0.102	-0.188 ^{**}	0.205 ^{**}	0.207 ^{**}
気 温	0.102	-0.079	-0.066	0.116	-0.054	-0.135 [*]	0.096	-0.072	-0.077	0.099	-0.066	-0.151 [*]
蒸気圧	0.091	0.029	-0.054	0.097	-0.017	-0.126	0.083	-0.009	-0.055	0.059	-0.021	-0.133 ^{**}
相対湿度	0.084	0.266 ^{**}	-0.087	0.059	0.122	-0.118	0.093	0.142 [*]	-0.057	-0.009	0.145 [*]	-0.105
風 速	-0.012	-0.149 [*]	-0.047	0.087	-0.167	-0.101	0.018	-0.178 ^{**}	-0.032	-0.007	-0.178 ^{**}	-0.116
雲 量	-0.036	0.205 ^{**}	-0.056	0.062	-0.037	-0.152	0.014	0.138 [*]	-0.090	-0.031	0.025	-0.124
降水量	-0.008	0.206 ^{**}	0.104	0.035	0.075	0.110	0.022	0.151 [*]	0.126	-0.021	0.053	0.140 [*]
日照時数	0.114	-0.312 ^{**}	-0.045	0.022	0.031	0.015	0.087	0.191 ^{**}	-0.021	0.127	-0.039	-0.010

区 分	No. 10		No. 15		No. 16		No. 17	
	当日-前日	前日-前々日	当日-前日	前日-前々日	当日-前日	前日-前々日	当日-前日	前日-前々日
気圧差	-0.360 ^{**}	0.040	-0.436 ^{**}	0.043	-0.380 ^{**}	0.112	-0.405 ^{**}	-0.005
気温差	0.725 ^{**}	-0.043	0.678 ^{**}	0.311	0.672 ^{**}	0.024	0.663 ^{**}	0.326 ^{**}
蒸気圧差	0.207 ^{**}	0.272 ^{**}	0.386 ^{**}	0.357 ^{**}	0.310 ^{**}	0.153 [*]	0.272 ^{**}	0.367 ^{**}
相対湿度差	-0.195 ^{**}	0.380 ^{**}	-0.066	0.264 ^{**}	-0.050	0.216 ^{**}	-0.170 [*]	0.274 ^{**}

注) * 危険率5%で有意 |r|≥0.132

** 危険率1%で有意 |r|≥0.172

表-8 みかけのひずみ差DSと気象データとの相関係数

7.3 相関行列, 偏回帰係数, 重相関係数等

7.2 で決定した x_i について各々の計算結果を表-9~12に示す。

7.4 所見

No.10, 15, 16, 17ともに当日と前日の気温差に対する偏回帰係数がもっとも大きい。No.10 (JIS試験体)についてみるとこの値は11.447となり、気温1℃の変化に対するひずみの変化は 11.447×10^{-6} となる。しかしNo.16 (材令4年を経過したJIS試験体)ではこの値は 9.036×10^{-6} であり、この差がコンクリートの調合の相違によるものか材令経過による差かは不明である。

一方、No.15 (壁ダミー) およびNo.17 (Aラーメン地上水平)では当日と前日の気温差および前日と前々日の気温差とに有意がみられ、各々の偏回帰係数もほぼ等しく、かつ他の気象データとのそれより大きい。

§ 8. 総括

以上の内容をまとめるとつぎのとおりである。

(1) J I S 試験 (養生温度 45 ± 5 % R.H) による自由収縮が 9.7×10^{-4} のコンクリートを使用した屋外実大試験体の収縮ひずみはつぎのようである。

壁つきラーメンのはり	2.7×10^{-4}
” 地中ばり	0.2 ”
” 柱	2.5 ”
” 壁 (水平方向)	2.8~3.0 ”
” 壁 (垂直方向)	3.6 ”
壁なしラーメンのはり	1.9 ”
” 地中ばり	0.3 (膨張)
” 柱	2.2 ”
壁ダミー (屋外養生)	4.7×10^{-4}
J I S 試験体 (屋外養生)	2.4

まず、屋外実大試験体の収縮ひずみはJ I S試験による自由収縮ひずみよりかなり小さいといえよう。実大試験体の各部についてみると、壁つきラーメンでは地中ばりのひずみは地上部分の $1/10$ 以下である。また、壁なし

1. 相関行列

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁
y	1	0.210	0.266	0.205	0.256	-0.312	-0.360	0.725	0.207	-0.195	0.273	0.380
x ₁		1	-0.324	-0.269	-0.188	0.167	-0.396	0.288	0.436	0.354	0.031	0.042
x ₂			1	0.671	0.546	-0.611	-0.085	0.113	-0.310	-0.422	0.251	0.382
x ₃				1	0.370	-0.762	-0.187	0.020	-0.190	-0.195	0.105	0.234
x ₄					1	-0.422	-0.055	0.224	-0.143	-0.277	0.153	0.367
x ₅						1	0.132	-0.114	0.241	0.317	-0.118	-0.347
x ₆							1	-0.300	-0.426	-0.299	-0.307	-0.322
x ₇								1	0.384	-0.147	0.192	0.284
x ₈									1	0.748	-0.060	-0.069
x ₉										1	-0.168	-0.247
x ₁₀											1	0.727

2. 平均値 (AVE), 標準偏差 (STD), 偏回帰係数 (β)

		AVE	STD	β
y	みかけの歪差	-0.67	37.48	—
x ₁	前日気圧	1013.15	5.87	0.273
x ₂	前日相対湿度	61.39	14.20	0.146
x ₃	前日雲量	5.97	3.58	-0.035
x ₄	前日降水量	3.09	7.83	-0.115
x ₅	前日日照時数	5.46	3.74	-0.170
x ₆	気圧差(当日-前日)	0.11	6.01	-0.766
x ₇	気温差(当日-前日)	0.04	2.00	11.447
x ₈	蒸気圧差(当日-前日)	0.11	2.36	0.473
x ₉	相対湿度差(当日-前日)	0.50	12.96	-0.265
x ₁₀	蒸気圧差(前日-前々日)	-0.05	2.47	0.589
x ₁₁	相対湿度差(前日-前々日)	-0.60	13.46	0.128

3. 重相関係数

r=0.7801

表一9 多重回帰分析結果・その1 [№10 JIS試験体 (10×10×40cm)]

1. 相関行列

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
y	1	0.255	0.212	-0.436	0.678	0.386	0.311	0.357	0.264
x ₁		1	0.577	-0.396	0.288	0.436	0.023	0.031	0.042
x ₂			1	-0.356	0.087	0	0.266	0.401	0.317
x ₃				1	-0.300	-0.426	-0.068	-0.307	-0.322
x ₄					1	0.384	-0.116	0.192	0.284
x ₅						1	0.009	-0.060	-0.069
x ₆							1	0.365	-0.220
x ₇								1	0.365

2. 平均値 (AVE), 標準偏差 (STD), 偏回帰係数 (β)

		AVE	STD	β
y	みかけの歪差	-0.15	26.98	—
x ₁	前日気圧	1013.15	5.87	-0.070
x ₂	前々日気圧	1012.99	5.94	-0.241
x ₃	気圧差(当日-前日)	0.11	6.01	-0.703
x ₄	気温差(当日-前日)	0.04	2.00	8.250
x ₅	蒸気圧差(当日-前日)	0.11	2.36	1.103
x ₆	気温差(前日-前々日)	0.13	2.16	7.051
x ₇	蒸気圧差(前日-前々日)	-0.05	2.47	-2.861
x ₈	相対湿度差(前日-前々日)	-0.60	13.46	1.020

3. 重相関係数

r=0.8285

表一10 多重回帰分析結果・その2 [№15 壁ダミー (61×61×15cm)]

1. 相関行列

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇
y	1	0.208	-0.178	-0.191	-0.330	0.672	0.310	0.216
x ₁		1	-0.291	0.167	-0.396	0.288	0.436	0.042
x ₂			1	-0.014	0.127	-0.164	-0.117	0.032
x ₃				1	0.132	-0.114	0.241	-0.347
x ₄					1	-0.300	-0.426	-0.322
x ₅						1	0.384	0.284
x ₆							1	-0.069
x ₇								1

2. 平均値 (AVE), 標準偏差 (STD), 偏回帰係数 (β)

		AVE	STD	β
y	みかけの歪差	1.01	29.71	—
x ₁	前日気圧	1013.15	5.87	-0.298
x ₂	前日気温	3.77	1.46	-1.341
x ₃	前日日照時数	5.46	3.74	-0.896
x ₄	気圧差(当日-前日)	0.11	6.01	-0.995
x ₅	気温差(当日-前日)	0.04	2.00	9.036
x ₆	蒸気圧差(当日-前日)	0.11	2.36	0.406
x ₇	相对湿度差(前日-前々日)	-0.60	13.46	0.119

3. 重相関係数

r=0.7101

表11 多重回帰分析結果・その3 (No.16 JIS 試験体(材令4年後のもの))

1. 相関行列

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
y	1	-0.188	0.205	-0.178	0.207	-0.405	0.663	0.272	0.326	0.367	0.274
x ₁		1	0.534	-0.143	0.191	0.564	-0.017	-0.001	-0.042	-0.254	-0.258
x ₂			1	-0.291	0.577	-0.396	0.288	0.436	0.023	0.031	0.042
x ₃				1	-0.064	0.127	-0.164	-0.117	-0.041	0.067	0.032
x ₄					1	-0.356	0.087	0	0.266	0.401	0.317
x ₅						1	-0.300	-0.426	-0.068	-0.307	-0.322
x ₆							1	0.384	-0.116	0.192	0.284
x ₇								1	0.009	-0.060	-0.069
x ₈									1	0.365	-0.220
x ₉										1	0.727

2. 平均値 (AVE), 標準偏差 (STD), 偏回帰係数 (β)

		AVE	STD	β
y	みかけの歪差	0.36	26.54	—
x ₁	当日気圧	1013.26	6.56	0.688
x ₂	前日気圧	1013.16	5.87	-0.806
x ₃	前日風速	3.77	1.46	-0.629
x ₄	前々日気圧	1012.99	5.94	-0.312
x ₅	気圧差(当日-前日)	0.11	6.01	-1.483
x ₆	気温差(当日-前日)	0.04	2.00	8.565
x ₇	蒸気圧差(当日-前日)	0.11	2.36	-0.452
x ₈	相对湿度差(当日-前日)	0.13	2.16	7.430
x ₉	蒸気圧差(前日-前々日)	-0.05	2.47	-3.191
x ₁₀	相对湿度差(前日-前々日)	-0.60	13.46	0.794

3. 重相関係数

r=0.8210

表12 多重回帰分析結果・その4 (No.17 Aラーメン地上水平)

ラーメンでは各部材のひずみが壁つきラーメンよりも小さいことがわかる。壁ダミーの収縮は壁の収縮より大きいのは当然だが、J I S 試験体（屋外養生）の収縮より大きい。この点は従来の研究結果に反することになり、さらに検討を要する。

(2) みかけのひずみ差（当日と前日のひずみの差）と気象データ（気圧、気温、蒸気圧、相対湿度、風速、雲量、降水量、日照時数、気圧差〔当日と前日との差、以下同様〕、気温差、蒸気圧差および相対湿度差）との相関係数が一番大きいのは気温差であり、コンクリートの体積変化におよぼす気温の影響が大きいことを示している。

壁つきラーメンの地上水平方向ひずみ15点の平均値で見ると、ひずみ差（当日と前日）と気象データの相関が有意なもので気温差以外のものはつぎのようである。

蒸気圧差、気圧差、気圧、相対湿度差、風速。

一方、屋外養生のJ I S 試験体ではつぎのようである
気圧差、蒸気圧差、気圧、相対湿度差、日照時数、相対湿度、降水量、雲量。

§ 9. 結 論

- (1) J I S 試験によるコンクリートの長さ変化と、屋外養生によるそれとは著しい差があり、今回の試験結果によると後者は前者の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ であった。
- (2) 屋外養生による実大試験体の長さ変化は、部位によって差がみられ、壁つきラーメンでは地中ばりの収縮は地上部分の $\frac{1}{10}$ 以下である。
- (3) 従来、乾燥収縮がひびわれ発生原因の中心と考えられているが、長さ変化の動きを短期（1日間隔）で

みたとき8種類の気象条件（気圧、気温、蒸気圧、相対湿度、風速、雲量、降水量および日照時数）のうち気温変動の影響が極端に大きい。

したがって、従来のひびわれ発生条件式にあるコンクリートの伸び能力（引張り弾性ひずみと引張りクリープ）のうち引張りクリープはあまり期待できない。また、若材令では引張り弾性ひずみも大きくないからひびわれ防止には、急激な気温変動の影響を受けにくくする対策が望まれる。

§ 10. あとがき

ここでは屋外実大試験体の、材令1年までのみかけのひずみについて気象データとの関係を検討したものである。

みかけのひずみとは温度による影響を含めたもので、実際の建物の動きをみるのには温度補正を行なったひずみよりもこの方が良いと思われたのでこうした。

なお、

・温度 \longleftrightarrow ひずみの昼夜連続測定結果および温度膨張係数の推定

・温度の影響を除いた乾燥収縮によるひずみ

・この試験体に発生したひびわれとひびわれ幅の変動等については引続き報告する予定である。

なお、数値計算ならびに作図は当社計算センターのI BM1620ならびにI BM1627 Plotter によった。

〔謝辞〕本研究の実施にあたって、当所所長鳥田専右博士の御指導をいただいた。ここに厚く感謝の意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 中西正俊：“コンクリートの体積変化におよぼす外気温の影響（第1報）”清水建設研究所報第17号 昭和46年4月
- 2) 中西正俊：“鉄筋コンクリート造建物の乾燥収縮ひずみの実測例”日本建築学会論文報告集号外（昭42.10）
- 3) “気象学ハンドブック”技報堂（昭34）
- 4) 東京管区気象台：“東京気象表”気象協会

