

RC 造建物の挙動と屋根防水について

—コンクリートの硬化乾燥収縮(その2)—

高橋 久雄
中島 安夫

概要

鉄筋コンクリート屋根の防水を計画する際には、下地コンクリートの挙動を正確に把握し、その対策を講じておくことは重要なことである。本報では、挙動の主原因の一つであるコンクリートの硬化乾燥収縮のみを取り上げて、実測結果と計算値について検討を試みた。その結果、外部に露出しているコンクリートは外界の気候の影響を受けやすく、特に降雨の有無が伸縮量を左右すること、および室内に置かれたコンクリートは、ほぼ計算による推定が可能であることが明らかとなった。

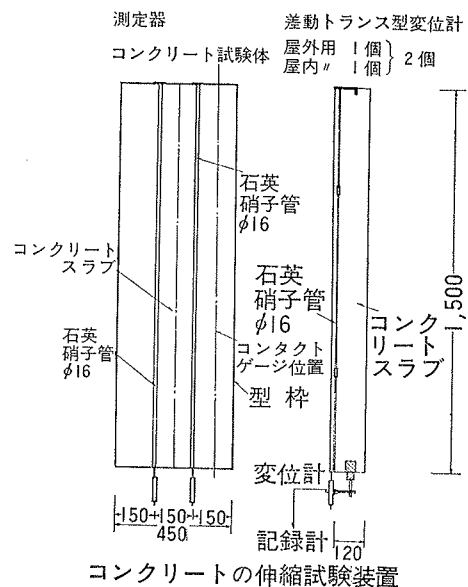
1. まえがき

一般にわが国においては、RC 造建物は不静定の構造となっており、スラブ、梁および柱等は互に拘束しているから鉄筋コンクリート部材の挙動を厳密に論ずるには各部材の拘束による影響を考慮しなければならない。また鉄筋コンクリートは鉄筋とコンクリートの複合体であるから、内部拘束による影響を考慮する必要がある。これらの拘束状態における挙動の解析が厳密には必要であろうと思われるが、本報では挙動の主原因の一つであるコンクリートの硬化乾燥収縮について、基本的な数値を求めることを目的として、無拘束なコンクリートを対象として実験を行ない、計算値と合わせて考察を行なったものである。

2. コンクリート板の伸縮

コンクリートが打設された直後からの伸縮測定には種々の困難がともなうが、本実験ではブリージングが終了し、硬化が開始したと見られる時に変位計をセットし測定を行なった。変位計には差動トランス変位計を、変位の基準尺には石英硝子管を使用し、測定を行なった。測定は自記記録計を使用し、記録は12分間に1回行なわれた。試験体の大きさは長さ1m500、幅450、厚さ120である。コンクリートスラブ内部の温度測定には銅コンスタンタン熱電対を用いて自記記録とした。差動トランス変位計と同時にコンタクトゲージ法による歪の測定も行ない、コンクリート打設の翌日ポイントを設定し、以後測定を行なった。コンクリート試験体は屋外、屋内共に1個を設置した。変位計の設置状態を図一に示す。また表一にはコンクリ

ートの調合を示す。



図一

単位: kg/m ³					
スラブ	単位水量	セメント量	砂	砂利	A E 剤
21cm	185	335	822	918	134 g
w/c : 55%			s/a : 47%		

表一 コンクリートの調合

測定期間は昭和44年8月19日より昭和45年2月13日まで行なわれ、今回はその結果をまとめたものである。

2.1. 歪の時間推移

コンクリート打設後の屋外コンクリート板の温度歪曲線を図二に示す。19時→22時においては水和熱に

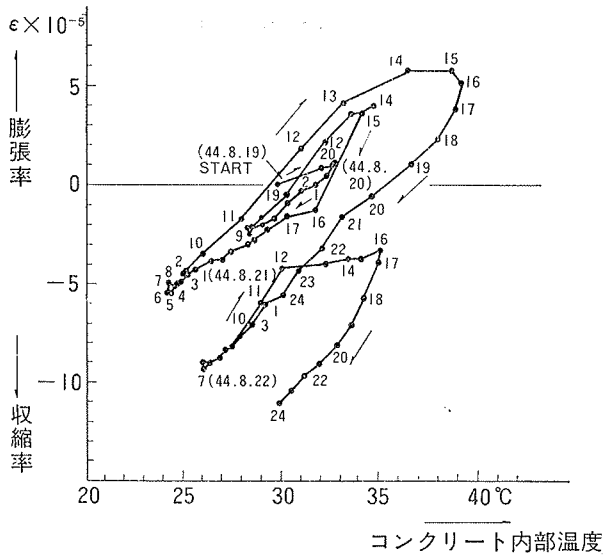


図-2 屋外コンクリート板温度歪曲線 (昭和44年8月19日~22日)

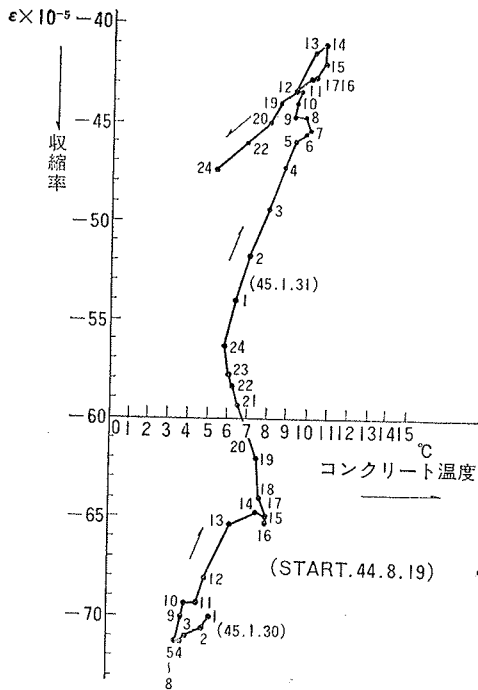


図-3 屋外コンクリート板一温度一歪曲線 (昭和45年1月30日~31日)

よる温度上昇が見られ、22時には最高温度 32.6°C 最大伸び $+1.1 \times 10^{-5}$ を記録した。以後温度の降下と共に収縮に転じ、翌日午前8時には温度28.1°C、収縮量は -2.7×10^{-5} となった。外気温度の上昇とともに膨張し14時には 34.5°C、 $+5.0 \times 10^{-5}$ となり、この間の見かけの熱膨張係数は $1.2 \times 10^{-5} \text{m/m}^\circ\text{C}$ となった。以後、降下曲線を描き8月21日6時までの見かけの熱膨張係数は $1.0 \times 10^{-5} \text{m/m}^\circ\text{C}$ となつ。同日14時までには温度上昇と共に膨張し、見かけの熱膨張係数は 9.3×10^{-5} となり、さらに8月22日7時までの見かけの熱膨張係数は $14.4 \times 10^{-5} \text{m/m}^\circ\text{C}$ となり、14時から19時

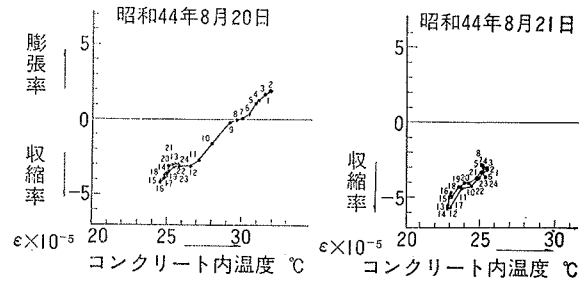
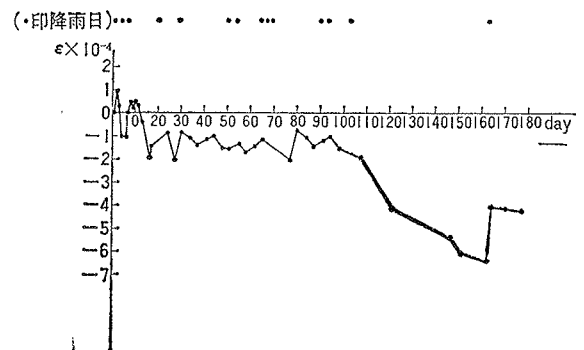


図-4

まで温度差零、収縮率 5×10^{-5} と考え合せて、この時点で乾燥収縮が進んでいることがわかる。同様な傾向は翌日のループを見ても、12時から19時までの間に乾燥収縮が進んでいると言える。一方屋内放置コンクリート板の伸縮は温度変化が少なく乾燥収縮による影響が出ていることが明らかである。(図-4)

屋外に置かれたコンクリート板は気象状態の影響を受けやすいことは図-3~6に示されているが、特に降雨の影響を無視することはできない。図-3においては、昭和45年1月30日から31日までの温度歪変化を示す。30日まで50数日間無降雨日が続いた後、雨が降り急膨張している様子が見られる。16時より31日の14時までの膨張率は 24×10^{-5} であった。

図-5にはコンクリート打設後177日までの屋外、屋内コンクリート板のコンタクトゲージ法による伸縮を示す。測定点9点の平均したものを示す。屋外コンクリート板の伸縮と降雨との関連性は明らかに存在し、コンクリート打設後100日までは $1 \sim 2 \times 10^{-4}$ 程度の収縮率を記録して、以後急激な乾燥収縮をしていることがわかる。この間無降雨であったことと相対湿度が低いことおよび温度低下等が急激な収縮原因と思われる。162日目には 6.3×10^{-4} の収縮率を示した。163日目に降雨があり、収縮率は 4.0×10^{-4} と減少し177日目には 4.2×10^{-4} の収縮にとどまった。



(44年8月19日~45年2月16日)
図-5 屋外放置試験体収縮率測定

一方屋内コンクリート板の伸縮の内ほとんどが収縮であり、打設後7日目で平均 2.1×10^{-4} の収縮率、16

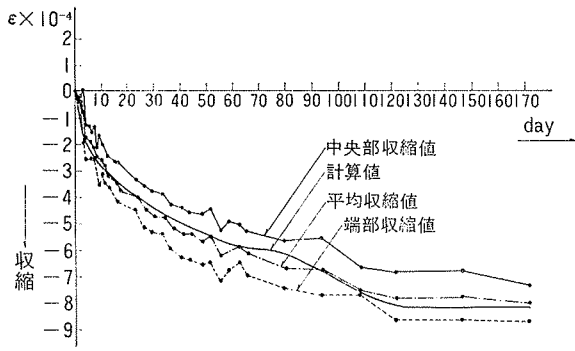


図-6 屋内放置試験体収縮率測定 (44年8月19日~45年2月16日)

経過日数	屋内	屋外
7日	-18	0
16日	-31	-19
24日	-36	-8
34日	-45	-11
55日	-59	-14
107日	-73	-19
121日	-76	-41
151日	-76	-60
170日	-80	-41

測定時刻 PM3.:30

表-2 コンクリートの伸縮率 $\epsilon \times 10^{-5}$

日目で 3.6×10^{-4} , 30日目で 4.8×10^{-4} , 62日目で 5.9×10^{-4} , 171日目で 8.0×10^{-4} の収縮率を記録した。屋内においては、屋外と収縮過程の様相が異なることがわかる。(図-6)

2.2. 計算による収縮率

コンクリートの乾燥収縮はコンクリート中と含まれている水分の逸散に関連していることを既知のことである。水分の拡散速度は、部材の体積と表面積との割合、多孔性、雰囲気温度湿度等に影響されるが、収縮速度を求める式は、骨材、セメントペースト等の影響を考え合せて、下記のようになる¹⁾ (Hilsdorf 式)。

$$\epsilon_s = \epsilon_{s\infty} (1 - \text{EXP}[-C_1(t/l^n)^n])$$

ここに、 $\epsilon_{s\infty}$: 終局収縮率

C_1, n : コンクリートの特性に関連する定数

$$n: \frac{1}{2}$$

t : 乾燥時間 (day)

l : 部材の厚さの特性値 $2V/S$

V : 体積, S : 乾燥面積

$$C_1 = 1.75 \times 10^{-2} \sqrt{1-\phi} \times \frac{1 + 15(W/C - 0.40)^2}{m_a}$$

られる

ϕ : 相対湿度,

W/C : 水セメント比

$$m_a = -\frac{1}{2}(m_0 + m_\infty)$$

m_0 : 乾燥時の水和反応率

m_∞ : 終局水和反応率

一方終局収縮率 $\epsilon_{s\infty}$ は

$$\epsilon_{s\infty} = C_2 \sqrt{1-\phi} \text{EXP}(-r \cdot l) \cdot \bar{k} (1 - V_a)^m$$

C_2, r, m はコンクリートの特性値

V_a : 骨材体積量

$$\text{多孔性 } \bar{k} \text{ は } \bar{k} = \frac{W/C - 0.18h}{W/C + 0.32}$$

W/C : 水セメント比, h : 水和反応率

$$(C_2 = 2.3 \times 10^{-2}, r = 1.7, m = 2)$$

表-1 に示す調査のコンクリートについて、屋内に放置された状態での収縮率を計算すると図-7 の様になる。実測値と比較した曲線を図-6 に示す。

温度影響によるグラフも同時に示した。実測値と計算値は屋内放置コンクリート板については、ほぼ一致していることがわかる。

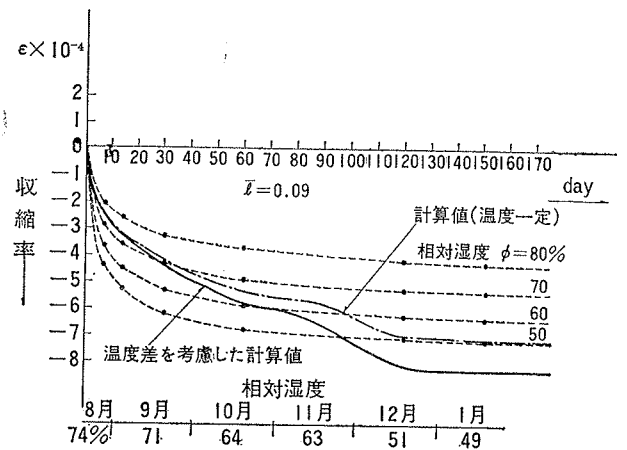


図-7 屋内放置試験体 計算による収縮率の推定値 (44年8月19日~45年2月16日)

3. 各部材の硬化乾燥収縮

計算によって各部材 (スラブ, 梁, 柱) の終局収縮値を求めた結果を図-8 ~ 9 に示す。図-8 にはスラ

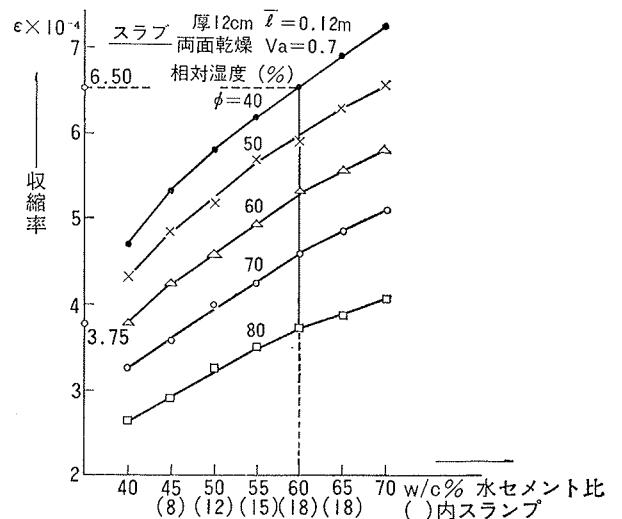


図-8

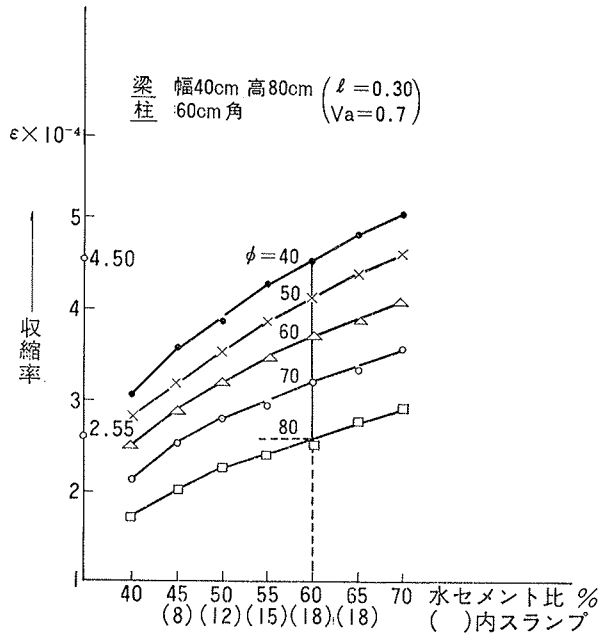


図-9

厚 12cm の収縮率を示す。W/C60%, スラブ18cm のコンクリートは、相対湿度40%において 6.5×10^{-4} の収縮率を、相対湿度80%において 3.75×10^{-4} の収縮率となる。相対湿度が低いほど収縮率は大きく、またスラブが小さいほど収縮率は小さいことがわかる。図-9 に梁(400×800)、柱(600角) の場合の収縮率を示し、12cm 厚スラブの収縮率の3割程度減の収縮率

を示していることがわかる。これより、スラブは、梁と収縮率が異なり部材間に応力が発生することは明らかに予想されることである。この傾向はスラブと梁の部材断面に差があればある程、収縮率差が生じ、ひび割れが、発生しやすい状態となる。

4. むすび

屋外に置かれたコンクリートは外界の気候条件の影響を受けやすく、特に降雨の有無が、伸縮量を大きく左右し、一昼夜の降雨で 2.4×10^{-5} の膨張率が測定された。一方室内に置かれたコンクリートは、ほぼ計算に一致する収縮率を実測した。

また部材の厚さにより収縮率に差があり、スラブは梁柱に比較して終局収縮率も大きく、収縮速度も速い。そのため部材間に拘束応力が発生しやすい。この傾向は部材断面の差が大きいほど大である。

参考文献

- 1) A method to estimate the water content of concrete shields H.K. Hilsdolf
- 2) 1968日米科学セミナー報告 H.K. Hilsdolf
- 3) JASS5 鉄筋コンクリート工事 日本建築学会