

1. まえがき

コンクリート構造物の設計に限界状態設計法を導入するため、現在、委員会において種々な問題点が検討されているが、特に使用限界状態を検討する際、コンクリートの乾燥収縮による部材内部の二次応力、あるいはそれに起因するひびわれ発生や変形状態などを十分考慮できるような算定式も検討すべきであろう。

本研究は、コンクリートの乾燥収縮に伴う非対称配筋RC部材の変形挙動やひびわれ性状などを試的に求めると共に、既報の応力平衡化回転モデルを用いた収縮ひびわれ前の同部材に対する解析結果、ならびに従来の算定式による結果と比較検討するために行った。

2. 応力平衡化回転モデル

図-1に示す応力平衡化回転モデルは、コンクリートをセメントペースト部と増材部とに分けてモデル化したもので、RC部材の場合は、図示するように軸方向鉄筋を表わす弾性バネを加えて解析すればよい。なお、コンクリートの乾燥によるサクションもモデル中では力 F_{S1} 、 F_{S2} と仮想している。同モデルはコンクリート部材の種々な時変依存現象の解析に活用できるが、本研究のような非対称配筋RC部材の解析の場合には、サクションがコンクリート体内で生じるものであるため、無筋およびコンクリートと鉄筋との同心が一致する部材のモデル解析結果から、次式に代入して求めなければならぬ。(図-2 参照)

$$E_{SR} = E_C + E_S = E'_C + E'_S = P_S/A_C E + P_S/A_S E_S = P'_S/A E + P'_S E^2/EI_C + P'_S/A_S E_S$$

$$\therefore E = P_S/A_S (E_{SR} - E_S), \quad P'_S = E_{SR} A / (1/A_C E + E^2/EI_C + 1/A_S E_S)$$

$$E_U = E_{SR} - P'_S (1/A_C E - E R/2EI_C), \quad E_L = E_{SR} - P'_S (1/A_C E + E R/2EI_C)$$

なお、実際の数値計算はモデル中の要素値が図-1注のように時間の経過に伴って変化するとし、繰返し計算から求めた。

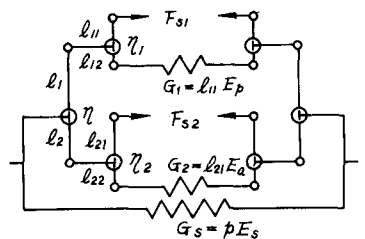
3. 実験概要および結果

実験に用いたコンクリートの配合と諸性質を表-1、-2に示す。乾燥収縮用の供試体として、図-3に示す6種類のRC部材と標準用の無筋部材とを各2本ずつ作製した。なお、打設上下面での材料分離による収縮ひずみ差を除去するため、図中の方向に打設した。本文中の収縮ひずみは、部材上下縁に測長18cm間隔の金具を埋設し、高感度型変位計(感度 $1/1000$ mm)でその間の変位量を測定することにより求めた平均ひずみである。作製した部材を1週間水中養生した後、恒温室(温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度70%程度)に移し、130日間収縮ひずみを測定した。その後、検査137日で収縮ひびわれ発生の有無を肉眼観察した後、コンクリートの収縮応力発現状況を調べるための曲げ試験(スパン45cm)を行った。なお、収縮応力の解析に必要なクリープ試験も

表-1 コンクリートの示方配合

W/C	s/a	Air	単位量 Kg/m^3				A/E 剤
%	%	%	W	C	S	G	CC/m ³
52	42	3±0.5	190	365	716	1054	128

中10×20cm 円柱供試体で同時に行った。



※) $l_1 = 2508 + 0.334 W/C$, $l_2 = 1 - l_1$
 $E_p = 10^5 / (-0.126 + 1.60 W/C)$, $E_s = 2.1 \times 10^6$
 $E_a = 10^5 / (0.099 + 0.247 W/C)$
 $l_{11} = (-0.126 + 1.60 W/C) T \cdot l_2 /$
 $\{(-3.22 + 8.48 W/C) + (-0.126 + 1.60 W/C) T\}$
 $l_{21} = (0.099 + 0.247 W/C) T \cdot l_1 /$
 $\{(-0.257 + 0.744 W/C) + (0.099 + 0.247 W/C) T\}$
 $\eta = 60 \sqrt{E_p}$, $\eta_1 = 10 \sqrt{E_p}$, $\eta_2 = 20 \sqrt{E_p}$
 $F_{S1} = 600 l_{11} (1 - e^{-0.02 T})$, $F_{S2} = 300 l_{21} (1 - e^{-0.02 T})$

図-1 応力平衡化回転モデル

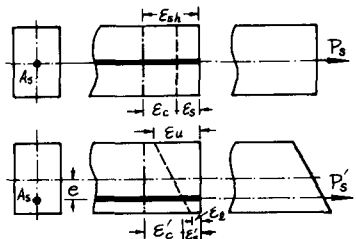


図-2 RC部材の乾燥収縮挙動

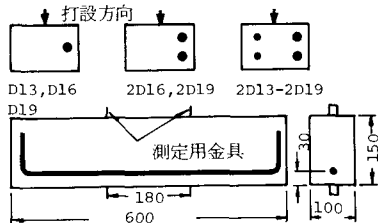


図-3 乾燥収縮用RC部材の形状

表-2 コンクリートの諸性質

材令日	圧縮強度 Kg/cm^2	引張強度 Kg/cm^2	弾性係数 $\times 10^4 \text{ Kg}/\text{cm}^2$
7	222	25.0	25.7
28	327	32.3	28.2
137	375	29.3	28.7

実験結果の一部を図-4,-5,-6に示す。図中の実線は無筋部材、破線はRC部材の上縁、一実鎖線は下縁(鉄筋側)の収縮ひずみである。なお、無筋部材の収縮ひずみ曲線が90日以降僅かに上昇傾向にあるのは、主に実験室の湿度低下に起因するものである。

図示するいずれの部材も60日以降部材上下縁のひずみ差が増大し、特に2D19と2D13-2D19部材では、ひずみが急速に伸び方に移行しているが、これは収縮ひびわれの発生に起因するものであり、部材の曲率が急増することを示している。収縮ひびわれは2D19と2D16部材に100日前後から観察できたが、曲げ試験前の詳細な観察の結果、2D13-2D19部材にも既に発生していることが確認できた。

図-7は曲げ試験時の部材中央下縁のひずみと荷重との関係である。同図から収縮ひびわれを生じなかったD13、D16およびD19部材の下縁における収縮ひずみを概算すると表-3のように推定できる。ここに、推定値は荷重-ひずみ図の急変点における無筋部材のひずみ値と各部材のそれとの差に圧縮および曲げ載荷から求めた割線弾性係数を掛けて求めた。(曲げ強度 $R_b=50\text{ kg/cm}^2$, 曲げ弾性係数 $E=31.6\times 10^4\text{ kg/cm}^2$)

4. モデル解析結果と実験結果との比較

図-8,-9,-10に上記の実験値に対応する解析収縮ひずみ-時間曲線を示す。図のように測定日数60日程度までの解析曲線は実験のそれとはほぼ一致している。ただし、60日以後の曲線の相違は、当然収縮ひびわれの発生に原因するものである。表-3に収縮ひずみの解析結果を示しているが、この値もほぼ推定値と一致しており、ひびわれ発生前のRと部材に対する乾燥収縮挙動の解析に、本解析法が十分適用できるものとする。なお、同表には従来の算定法による計算結果も示しているが、いずれの算定法も推定値とよく一致している。ただし、このような結果は、本実験が枚令7日からの短期収縮試験であったことに関連するもので、枚令経過に伴う弾性係数 η の変化に割合やクリープ係数が大きい場合の算定法としては、多少問題があるものと思われる。

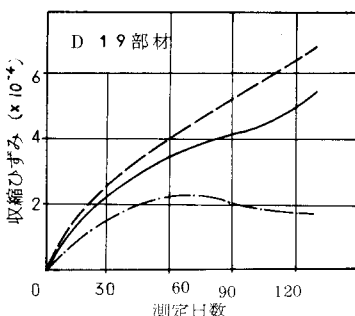


図-4 実測収縮ひずみ-時間曲線

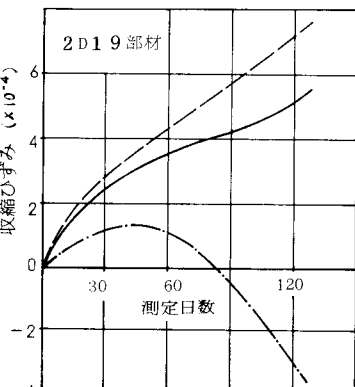


図-5 実測収縮ひずみ-時間曲線

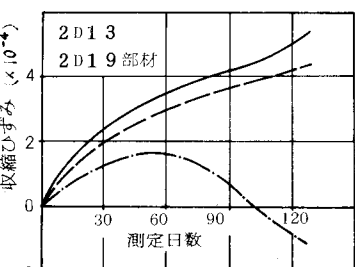


図-6 実測収縮ひずみ-時間曲線

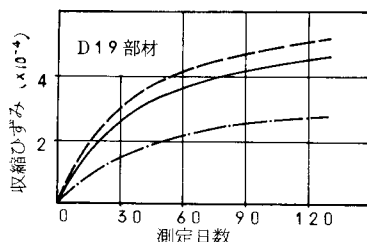


図-8 解析収縮ひずみ-時間曲線

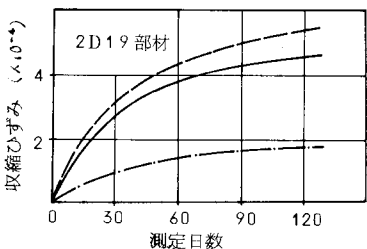


図-9 解析収縮ひずみ-時間曲線

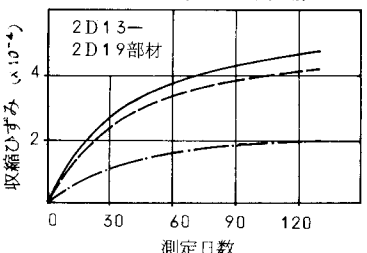


図-10 解析収縮ひずみ-時間曲線

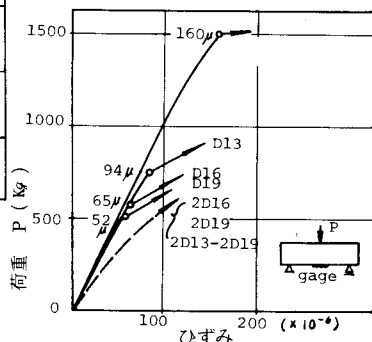


図-7 曲げ試験時の荷重-ひずみ曲線

表-3 部材下縁の収縮応力度 (kg/cm^2)

	D13部材	D16部材	D19部材
推定値	19 (21)	27 (30)	31 (34)
本解析値	20	28	36
レラクセーション法	21	29	36
有効係数法	20	27	33

注) $E_{sh}=540\times 10^{-6}$, $\varphi_r=1.61$, $\eta=0.67$
 レラクセーション法 $f_s=E_{sh}E_s/[1+\eta\phi(1+e^{\eta/\phi})(1+\eta\varphi_r)]$
 有効係数法 $f_s=E_{sh}E_s/[1+\eta\phi(1+e^{\eta/\phi})(1+\eta\varphi_r)]$