

コンクリート部材の時間依存特性解析

九州産業大学 正員 宮川邦彦

1. まえがき

土木構造物の設計では、通常総ての荷重が同時に作用すると考えている。だが、荷重の作用時期は当然その種類で異なる。特にコンクリート構造物の場合は、鋼構造とは異なり、コンクリート自体が大きな時間依存ひずみ（乾燥収縮、クリープ）を生じる特異な材料であるため、荷重の作用時期の違いが部材のひび割れや終局耐力などに及ぼす影響を無視できないように思われる。

本研究では、コンクリート部材内部に於ける応力移行現象の新しい解析法を検討すると共に、同現象に関する二三の検証実験を行った。以下に、その概要を報告する。

2. 力学モデルによるコンクリート部材の時間依存解析法

コンクリート部材の時間依存解析法としては、既にID法やTB法などが提案されている。だが、これらの解析法には実際の現象とは相違する二三の仮定が含まれているため、実測結果とは一致しないことが指摘されている。

本研究に用いた力学モデル解析法（以下、本解析法と呼ぶ。）は図-1に示すように、コンクリートの時間依存ひずみを予測するために考案した力学モデルを更に拡張し、RCやPC部材の解析にも適用できるようにしたものである。ただし、同モデルは図示するように一次元モデルであり、そのままでは非対称配筋部材の解析には適用できない。そのため、以下のような計算過程を導入して解析した。なお、紙面の関係上、ここでは非対称配筋RC部材の乾燥収縮解析法だけを示す。

本解析法では、まず任意時間後の無筋および対称配筋部材に関するモデル解析を行い、その結果を用いて式-1に示すコンクリートの見掛けヤング係数（ E ）を求め、その値から非対称配筋部材の収縮挙動を式-2で解析した。（図-2 参照）

$$E = H_s / A_c (\epsilon_{sh} - \epsilon_s) \quad \dots 1$$

$$H'_s = H_s (1 / A_c E + 1 / A_s E_s) / (1 / A_c E + \epsilon_s^2 / E I_c + 1 / A_s E_s) \quad \dots 2$$

$$\sigma_x = (1 / A_c + \epsilon_s x / 2 I_c) H'_s \quad \epsilon_x = \epsilon_{sh} - \sigma_x / E$$

$$\sigma'_s = H'_s / A_s \quad \epsilon'_s = \sigma'_s / E_s$$

ここに、 H_s, H'_s : 軸方向鉄筋の拘束力

ϵ_{sh} : コンクリートの乾燥収縮ひずみ

σ_x, ϵ_s : 任意位置 x 点のコンクリートの応力およびひずみ

σ'_s, ϵ'_s : 軸方向鉄筋の応力およびひずみ

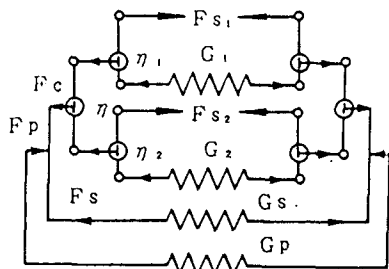


図-1 応力平衡化回転モデル

3. 実験概要

本解析法の妥当性を検証するため、図-3に示す非対称配筋部材に関する基礎的実験を行った。本実験では単位水量 $W=180 \text{ kg/m}^3$ 、単位セメント量 $C=420 \text{ kg/m}^3$ （早強セメント）のコンクリートを用いた。PC部材はプレテンション方式（初期緊張力 $P_i=2.1 \text{ tf}$ ）で作製し、材令3日で応力を導入した。作製した部材は、一部を除き、応力導入直後から恒温室内（温度 20°C 、湿度 65% ）に移し、

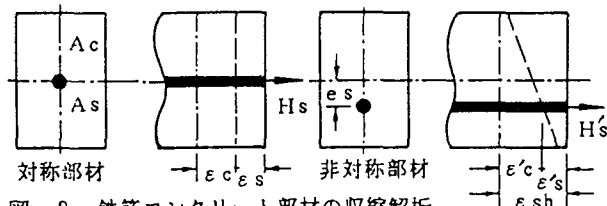


図-2 鉄筋コンクリート部材の収縮解析

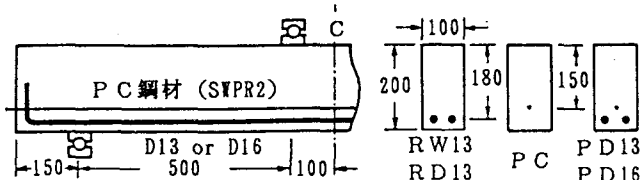


図-3 載荷方法および部材形状（単位 mm）

部材のひずみはコンクリート表面および埋設鉄筋に貼付したひずみゲージを用いて約60日間実測した。実測結果と本解析法による予測結果を表-1および図-4、-5に示す。曲げ試験は図-3のような対称2点荷重で行い、ひび割れ発生状況および終局耐力などを調べた。それらの結果を表-2に示す。

4. 実測結果と解析結果との比較検討

PC部材の時間依存ひずみの実測および予測結果の一例を図-4および図-5に示す。図示するように軸方向鉄筋のないPC部材の場合、部材上下縁のひずみ差が時間の経過に伴って徐々に拡大するのに対し、軸方向鉄筋を有するPD13部材の場合は、上縁の収縮ひずみが40日以後下縁のそれよりも大きくなっていく。これは軸方向鉄筋がコンクリートの収縮ひずみを拘束するためであり、このように軸方向鉄筋の有無でPC部材の応力やひずみ性状は大幅に相違する。表-1および図-4、-5に示すように時間依存ひずみの実測結果と予測のそれとはほぼ一致しており、この結果から本解析法の妥当性を立証し得たものと考えられる。

表-2に示す曲げひび割れ荷重の実測値(P_{cr})は部材下縁に貼付したひずみゲージの急変点から、また計算値(P_{cal})はコンクリートの引張強度(f_t)に曲げ試験時の部材下縁応力度(σ_{cl})を加算して弾性式から求めた値である。表-2に示すように P_{cr} と P_{cal} とはほぼ一致しており、この結果からも本解析法の妥当性を検証し得たものと考えられる。

5. むすび

現行のコンクリート標準示方書では、PC部材に配筋されている軸方向鉄筋の影響を通常無視して設計しているが、以上のように部材内部の応力やひずみ性状は時間依存性を示し、それらの値は経過時間や軸方向鉄筋の有無などで大幅に相違する。また地震時の場合は、荷重が急変するため、その作用時期の違いが部材のひび割れ耐力などに重大な影響を及ぼすことが懸念される。したがって、設計でも荷重の作用時期やコンクリートの時間依存現象の影響を考慮すべきであり、そのためにも今後はコンクリート部材の時間依存特性を簡単に予測できる算定式を確立すべきであろう。

表-1 部材ひずみの実測値と予測値との比較 ($\times 10^{-6}$)

部 材 記 号	応力導入時		55日経過後	
	実測値	予測値	実測値	予測値
無 筋	0	0	-325	-271
RD13	0	0	-343 (-139)	-312 (-171)
PC	13 (-44)	16 (-56)	-260 (-338)	-236 (-392)
PD13	11 (-39)	9 (-45)	-330 (-285)	-303 (-288)
PD16	10 (-39)	7 (-41)	-300 (-265)	-324 (-255)

注) 無筋: $10 \times 10 \times 40$ cm 角柱供試体6測点の平均値

RD13: 上縁および()は下縁の値

P部材: 上縁および()は上縁から15cm 位置の値

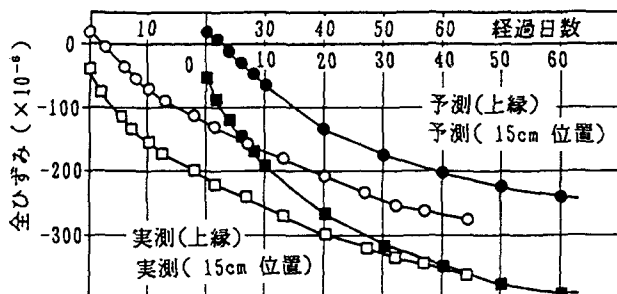


図-4 PC部材のひずみ-時間曲線

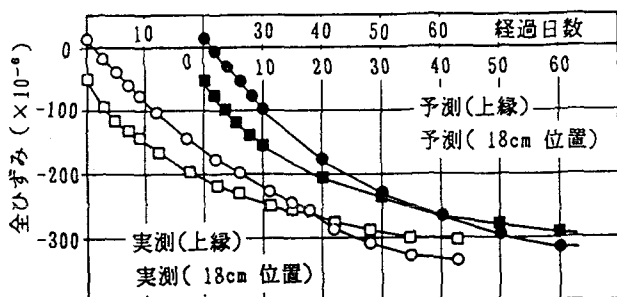


図-5 PD13 部材のひずみ-時間曲線

表-2 部材の曲げひび割れおよび破壊荷重

部 材 記 号	f_t (kgf/cm ²)	σ_{cl} (kgf/cm ²)	P_{cr} (tf)	P_{cal} (tf)	破 壊 形 式	破壊荷重 (tf)
RW13	38.3	0	1.0~1.2	1.06	曲げせん断	6.58
RD13	35.1	-17.2	0.6~0.8	0.68	曲げせん断	6.65
PC	35.1	24.3	1.7~	1.58	曲 げ	1.76
PD13	39.2	-1.7	1.0~1.2	1.21	斜め引張り	6.50
PD16	35.4	-10.0	0.6~0.8	0.90	斜め引張り	7.60