

(株) 竹中土木 正会員 ○ 丹原 利夫
竹中技術研究所 正会員 吉岡 保彦
竹中技術研究所 正会員 米沢 敏男

1. まえがき 近年、構造物の大型化に伴いその部材寸法も大きくなり、いわゆるマスコンクリートとして取り扱われねばならない構造物が増加している。前回、“マスコンクリートに生じる熱拘束ひずみについて”と題しマスコンクリートのひびわれ問題の解明の一環として、コンクリートがマスコンクリートに相当する温度履歴を示し、それによる熱変形が外的に拘束された場合に生じる応力をヤング係数の時間的変化およびクリープを考慮して算定する方法を示した。¹⁾ 本研究はこの算定方法において仮定されている諸材料定数の確認実験および室内における小規模の拘束モデル実験を行ない、発生した拘束応力の実測値と本算定方法による計算値を比較することにより、提案した計算法の妥当性を検討した結果について報告するものである。

2. 材料定数の確認実験 本確認実験は前回の報告における計算手順中の材料特性計算式の妥当性を検討するために行なったもので、脱型可能な比較的若材令期(8時間)からのコンクリートの圧縮、割裂引張強度試験およびヤング係数測定試験を行なった。セメントは日本製普通および中庸熱ポルトランドセメントを、骨材は大井川産の川砂、川砂利を使用した。コンクリートの配合を表-1に示す。まずマチュリティと圧縮強度の関係であるが、計算法では

表-1 コンクリートの配合

セメントの種別	骨材の最大寸法 (mm)	スラップ (mm)	空気量 (%)	水セメント比 (mm)	配合率 (%)	水 (%)	セメント (kg/m ³)	骨材 (kg/m ³)	AE (kg)
普通	25	12	4.0	50.0	36.7	159	318	679	1169
中庸熱	25	12	4.0	50.0	36.7	159	318	679	1169

洪による強度百分率を用いて28日圧縮強度から任意材令の圧縮強度を推定している。今回の実験値と洪による計算値を比較すると若材令期を除けば比較的良好な対応を示しており、従って計算法においてマチュリティから圧縮強度の推定を行なうことは若干の補正を行えばほぼ妥当であると言える。拘束応力の算定に寄与するヤング係数の影響は大きく、そのために各材令におけるヤング係数をできるだけ正確に推定することが望ましい。前回の報告ではACI-207委員会式によりヤング係数を推定した。図-1に各国の規準値と今回の実験結果を示すが、ACI式は他の規準値と比較してもヤング係数を低く見積っており、拘束応力を過小評価する傾向があると言える。実験結果はCEB-FIPまたはDIN-1045と比較的良く対応しており一般的にはこの程度のものを用いればよいと考えられる。また、圧縮強度と引張強度の関係を図-2に示す。使用材料が異なることや実験数が少ないこと等により、実験結果はACI式とは必ずしもよい対応を示していない。マスコンクリートは乾燥されにくい条件下にあることを考えれば、 $1.78\sqrt{f_c}$ を用いてもよいと思われるが、初期強度を過大評価する恐れがあるために図中の実験式により引張強度を算定することとした。クリープについてはRuschらの提案による新しいCEB-FIPの考え方⁴⁾に基づいた。

すなわち、クリープひずみを回復性の遅れ弾性と非回復性のフローの和とした。遅れ弾性ひずみはコンクリートの載荷時材令および湿潤状態とは無関係とし、これに対してフロー成分では部材の大きさや成熟度を考慮するも

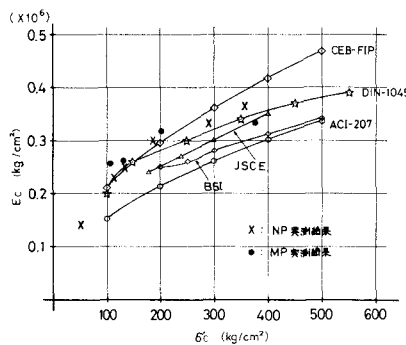


図-1. 圧縮強度とヤング係数の関係

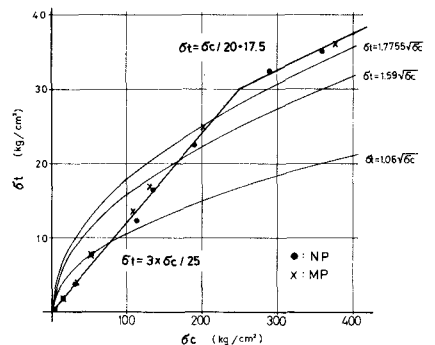


図-2. 圧縮強度と引張強度の関係

のとした。なお、温度によるクリープの変化は前回と同様の方法とした。

3. 一軸拘束モデル実験 図-3のようなモデルによりコンクリートの拘束応力を計測した。すなわちコンクリートは垂鈴型とし、中心部は20cm角で厚さ10cmの断熱材で囲み、コンクリートに水和熱による温度変化を与えるようにした。端部は40cm角とし図に示す方法で拘束金具と緊着した。拘束材には山形鋼、溝形鋼を用い、拘束度を3種類($R = 1 / (1 + A_c E_c \epsilon_{c,28} / A_s E_s)$)で定義すると $R = 0.16, 0.38, 0.71$ に変化させた。鋼材の中心部には各試験体で約20点のワイヤーストレインゲージを貼布し、ひずみの経時変化からコンクリートに作用する応力を求めた。コンクリート中および鋼材の温度はC-C熱電対で測定した。またコンクリートの配合は表-1に同じであり、これに打設温度を2種類変化させて計4シリーズの拘束実験を行なった。例えばMP-3D、Dは中庸熱セメントを用いた打設温度30、0°Cのシリーズを示している。図-4に鋼材のひずみから換算したコンクリートの応力履歴の測定例を示す。拘束度の大きいものほど材令初期に生じる圧縮応力も大きく、10%程度の値を示したシリーズもあり、一概に無視できるものとはいえない。この圧縮応力は材令の経過に伴って引張域に転じるが、ここでも拘束度の大きいものほど、温度の高いものほど引張応力は大きく、軸剛性比と温度履歴が拘束応力に大きく関係していることがわかる。また実験部材平均温度履歴を用いて各拘束度における内部応力を計算した。一例を図-5に示す。図-4と比較すると実測値に近い応力変化が得られていることがわかる。表-2に各材令における実測応力と計算応力の比($\sigma_{実測} / \sigma_{計算}$)を示す。これによると応力の推定精度はセメントの種類、打設温度、および材令による差異はあまりみられず、平均すると92%程度であった。しかし、拘束度が大きくなると応力の推定精度が若干おちる傾向がみられた。これは計算上でクリープの取り扱いを応力に比例すると仮定したが引張強度の60%をこえる応力の場合には計算よりもクリープがかなり大きくなるためと考えられる。またすべてにひびわれが認められた $R=0.71$ の試験体において計算上で引張強度を上回る応力の発生時期と実測時期とは図-4と図-5に示すように若干の時間的ずれがみられた。これは引張強度のとり方にも若干の検討すべき問題が残されているためと言える。

4. おわりに、 前回提案したマスコンクリートの温度応力解析手法の妥当性を検討するため、材料定数推定方法の確認実験および一軸拘束モデル実験を行なった結果、マスコンクリートのひびわれ問題の解析に十分適用が可能であることが確認され、今後実構造物でその妥当性を検討した上で積極的に利用してゆきたいと考えている。

<参考文献> 1). 吉岡他 "マスコンクリートに生じる熱拘束ひずみについて", 第32回年次講演会 2). 洪他, "寒中コンクリート", 1968 3). ACI Comittie 207 Report, Jour of ACI, July 1973 4). H.リュッシュ他, "コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮", 1976

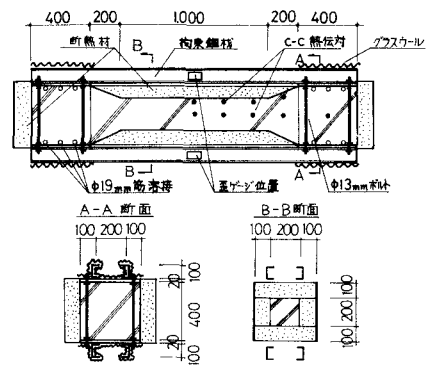


図-3 拘束実験装置

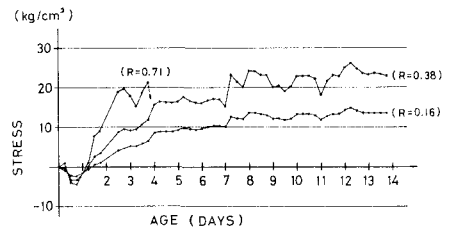


図-4 実測応力履歴 (MP-3D, D)

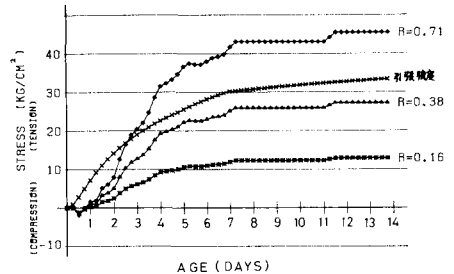


図-5 計算応力履歴 (MP-3D, D)

表-2 実測応力と計算応力の比

セメントの種類	打込み温度 (°C)	拘束度	経 時 (日)						
N P	18.5	0.16	2.74	0.90	0.99	1.08	0.97	—	—
		0.38	1.26	0.76	0.71	(0.60)	0.63	—	—
		0.16	0.90	1.00	1.02	0.90	0.92	0.92	—
	30.0	0.38	0.77	0.73	(0.63)	(0.64)	0.70	0.70	—
		0.16	1.10	0.89	1.06	1.07	—	—	—
		0.38	1.32	0.98	1.04	0.87	—	—	—
M P	14.5	0.16	0.84	0.87	0.84	1.09	1.10	—	—
		0.38	0.71	0.74	(0.60)	0.88	0.94	—	—
		0.71	0.87	—	—	—	—	—	—
	30.0	0.16	0.84	0.87	0.84	1.09	1.10	—	—
		0.38	0.71	0.74	(0.60)	0.88	0.94	—	—
		0.71	0.87	—	—	—	—	—	—