

論 文

[1146] マスコンクリート構造物における外部拘束係数に関する研究

正会員 ○石田 有三 (名古屋工業大学大学院)

正会員 上原 匠 (名古屋工業大学大学院)

正会員 梅原 秀哲 (名古屋工業大学工学部)

正会員 吉田 弥智 (名古屋工業大学工学部)

1. 序論

コンクリート構造物の大型化および施工法の進歩による大量急速施工の増加に伴い、セメントの水和熱に起因する温度応力が構造物にひびわれを生じさせる場合がしばしば見られる。昭和61年に改訂された土木学会「コンクリート標準示方書」¹⁾（以下示方書と略記）でもこの点を重視し、施工方法のみならず、ひびわれの発生ならびに温度応力の検討方法についての指針を示している。マスコンクリートの温度応力研究委員会によって提案されたCompensation Plane法²⁾（以下CP法と略記）は、この温度応力を算定する簡易手法として、その解析に必要な外部拘束係数とともに示方書に記載され広く利用されている。ところで、この外部拘束係数は地盤に直接打設された高さが1.5mのスラブ状構造物を対象として、二次元有限要素法による数値計算により同定されたものである。しかも、この外部拘束係数は構造物の中央部分の応力から求められたものであり、壁厚の影響を考慮し、三次元的な取り扱いが必要な構造物に適用した場合、その適用性を調べておく必要がある。

そこで、本研究は三次元有限要素法を用いて、二次元有限要素法による外部拘束係数の同定と同じ数値計算方法により、高さを1.5m以外の場合と幅厚を変化させた場合で新たに外部拘束係数を求めて、両者の値を比較することにより、形状の変化における外部拘束係数の適用性を調べるとともに、その結果を基にして、三次元的な取り扱いが必要な壁状構造物に、CP法を適用する場合の外部拘束係数の修正についての提案を行うことを目的としたものである。

2. 外部拘束係数同定のための解析手法

2.1 解析手法

示方書において、外部拘束係数 R_N, R_M は次式のように定義されている。

$$R_N = N/N_0 \quad R_M = M/M_0 \quad (1)$$

したがって、同定を行うためには、断面力 N, M の値および N_0, M_0 の値が必要となる。本研究では、三次元有限要素法を用いて、示方書に記載されている二次元有限要素法による外部拘束係数の同定と同じ数値計算法により、新たに外部拘束係数を求めた。外部拘束係数同定のための数値計算は二次元有限要素の場合と同様、図-1に示すような手順で行った。

ここで、STEP 1 の温度分布は、三次元有



図-1 外部拘束係数の同定フロー

限要素法温度解析より求める。STEP 2 の温度応力は、STEP 1 で求めた温度分布を基に三次元有限要素法応力解析により求める。STEP 3 の内部拘束応力は、プログラムの問題上実際の計算では拘束体のヤング係数を 1.0 kgf/cm^2 として求める。

2.2 解析モデルおよび解析条件

本研究では、図-2 に示すような地盤に直接打設されたコンクリートブロックを対象とした。三次元有限要素法では対称性を考慮し、図-3 に示す

ように、この $1/4$ モデルについて解析を行った。

温度解析および応力解析に必要なコンクリートおよび地盤の物理特性値を表-1 に示す。コンクリートの単位セメント量 300 kg/m^3 、28日強度 300 kgf/cm^2 とし、いずれも示方書より熱特性値を求めた。また、コンクリートの断熱温度上昇量は、次式に示すものを用いた。

$$Q(t) = 41.8 \{ 1 - \exp(-0.98t) \} \quad (2)$$

温度解析における境界条件は、図-3 に示すように、コンクリート上部表面ならびに側面および地盤上部表面で熱伝達境界、対称境界で断熱境界、地盤下面で固定温度境界とした。応力解析においては、コンクリートのヤング係数として、示方書に示されているクリープの影響を考慮した有効ヤング係数を用いることにした。境界条件は、図-3 に示すように、地盤下面で固定境界、地盤ならびにコンクリートの対称境界面および地盤の側面（端部）においては、各面と垂直方向の変位を拘束した。解析パラメータとして、表-2 に示すように幅（B）および高さ（H）をそれぞれ $0.75, 1.5, 3.0 \text{ m}$ の3種類に、またコンクリートと地盤のヤング係数の比 E_c/E_r を $40, 30, 20, 10, 0$ の5種類、コンクリートブロックの高さと長さの比 L/H を $1, 5, 10, 15$ の4種類として、合計180ケースについて解析を行った。

3. 解析結果

2.1 で述べた算出方法により、各時間間隔ごとに、各解析パラメータにおける軸拘束係数 R_{Ni} ならびに曲げ拘

表-1 热力学的特性値

束係数 R_{Mi} を図 -3 に示す斜線 部、すなわち、 コンクリート中 央部分を対象と して求めた。こ のようにして、 求めた拘束係数 の値は R_N およ	地盤		コンクリート	
	比熱 (kcal/kg°C)	0.25	比熱 (kcal/kg°C)	0.31
熱伝導率 (kcal/cmh°C)	0.0194		0.025	
密度 (kg/m³)	0.0026		0.00231	
熱膨張係数 (1/°C)	1.0×10^{-5}		1.0×10^{-5}	
単位セメント量 (kg/m³)	—		300	
ボアソン比 ν	0.2		0.167	
初期温度(°C)	上面 20 下面 15		20	
外気温(°C)	20		20	
クリープ	有効ヤング係数にて考慮			

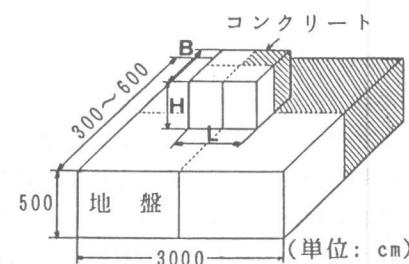


図-2 対象構造物

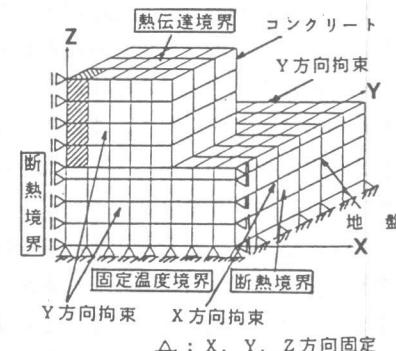


図-3 三次元解析モデル

△ : X, Y, Z 方向固定
△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

△ : X, Y 方向固定

</div

び R_N の適用をできるだけ簡便にするため、材令にかかわらず一定値をとれるように考慮する必要がある。したがって、マスコンクリートの温度応力研究委員会で行われたのと同様の方法で R_N 、 R_M の値を定めた。得られた解析結果を示方書の値で除した比率を各パラメータごとに、軸拘束係数 R_N を表-3に、曲げ拘束係数 R_M （ピーク前）を表-4に、曲げ拘束係数 R_M （ピーク後）を表-5に示す。なお、ピーク前とピーク後は、図-1のステップ6に示す完全拘束条件下でのモーメントのピーク材令時を境にして分けたものである。

4. 外部拘束係数の評価

得られた外部拘束係数は、表-3～5に見られるように示方書の値より大きな値を示している場合もあれば、逆に小さな値を示している場合もあり、その比率は0.3～6.0とばらつきが大きい。そこで、まず軸拘束係数 R_N 、曲げ拘束係数 R_M （ピーク前）、曲げ拘束係数 R_M （

表-3 解析結果と示方書に記載されている R_N との比率

L/H	E_c/E_r	示方書の拘束係数 R_N	比率（解析値から得られた外部拘束係数／示方書の外部拘束係数）								
			H=0.75			H=1.5			H=3.0		
			B=0.75	B=1.5	B=3.0	B=0.75	B=1.5	B=3.0	B=0.75	B=1.5	B=3.0
1	4.0	0.0116.0055.003.00	5.00	4.00	3.00	5.00	4.00	3.00	5.00	4.00	3.00
	3.0	0.0235.0035.002.00	3.00	2.50	2.00	3.00	2.50	2.00	3.00	2.50	2.00
	2.0	0.0322.672.331.67	2.67	2.67	2.00	2.00	2.00	2.00	2.67	2.00	1.67
	1.0	0.0522.202.001.60	2.01	1.80	1.80	2.01	1.80	1.80	2.01	1.80	1.60
	0	0.3110.5810.551.55	0.55	0.71	0.74	0.29	0.29	0.84	0.87	0.90	0.90
5	4.0	0.0432.252.001.75	2.50	2.00	1.75	4.00	3.00	2.50	2.25	2.00	2.00
	3.0	0.0622.671.661.33	2.67	1.66	1.33	5.00	3.17	1.71	1.83	1.67	1.67
	2.0	0.0822.631.251.38	2.75	1.25	1.38	2.51	2.51	1.31	1.88	1.75	1.75
	1.0	0.1711.821.241.00	1.94	1.18	1.81	1.82	1.81	1.82	1.47	1.35	1.35
	0	0.8000.8800.751.00	0.69	0.01	0.00	0.01	0.01	0.94	0.61	0.13	0.13
10	4.0	0.0832.382.131.75	3.75	2.13	1.75	8.81	4.75	2.88	2.88	2.63	2.63
	3.0	0.1322.541.541.38	3.00	1.54	1.38	5.44	3.54	2.23	2.23	2.00	2.00
	2.0	0.2022.001.351.20	2.00	1.45	1.30	2.85	1.90	1.70	1.70	1.70	1.70
	1.0	0.3022.001.371.23	2.00	1.33	1.33	2.43	1.83	1.70	1.70	1.70	1.70
	0	1.0000.9800.941.95	1.00	0.01	0.00	0.00	0.99	1.00	0.01	0.01	0.04
15	4.0	0.162.501.561.38	3.13	1.88	1.69	3.75	2.44	2.19	2.19	1.91	1.91
	3.0	0.2222.181.411.23	2.55	1.36	1.50	3.05	2.14	1.91	1.91	1.89	1.89
	2.0	0.2822.071.431.29	2.36	1.43	1.54	2.71	2.04	1.89	1.89	1.89	1.89
	1.0	0.491.511.161.06	1.63	1.22	1.22	1.80	1.53	1.45	1.45	1.45	1.45
	0	1.0200.9800.971.00	0.98	0.01	0.02	0.02	0.98	1.00	0.01	0.01	0.03

表-4 解析結果と示方書に記載されている R_M （ピーク前）との比率

L/H	E_c/E_r	示方書の拘束係数 R_M ピーク前	比率（解析値から得られた外部拘束係数／示方書の外部拘束係数）								
			H=0.75			H=1.5			H=3.0		
			B=0.75	B=1.5	B=3.0	B=0.75	B=1.5	B=3.0	B=0.75	B=1.5	B=3.0
1	4.0	0.400.10.10.480.48	0.53	0.88	0.75	1.30	0.87	0.70	0.70	0.88	0.66
	3.0	0.500.180.088.00	0.42	0.80	0.66	1.14	0.88	0.66	0.66	0.88	0.66
	2.0	0.550.3040.890.90	0.30	0.87	0.72	1.13	0.95	0.75	0.75	0.95	0.75
	1.0	0.600.5550.950.95	0.30	1.71	1.00	0.83	1.21	0.71	0.71	0.88	0.78
	0	0.600.4131.001.02	-0.83	0.92	0.83	0.57	0.72	0.78	0.78	0.72	0.78
5	4.0	0.751.431.331.20	1.07	1.51	0.50	0.83	1.47	1.04	0.44	0.44	0.44
	3.0	0.901.191.101.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.71	1.26	0.91	0.91	0.91
	2.0	1.021.011.051.07	0.98	0.98	0.88	0.88	0.67	1.14	0.85	0.85	0.85
	1.0	1.071.031.161.03	0.90	0.93	0.93	0.95	0.69	1.20	0.89	0.89	0.89
	0	1.101.051.301.25	0.91	0.95	0.92	0.80	0.82	0.92	0.74	0.72	0.84
10	4.0	1.040.980.930.95	0.95	0.96	0.90	0.87	1.01	0.91	0.91	0.88	0.88
	3.0	1.1700.880.840.87	0.87	0.86	0.85	0.85	0.77	0.91	0.85	0.85	0.81
	2.0	1.1800.880.860.89	0.89	0.85	0.85	0.85	0.85	0.89	0.86	0.84	0.84
	1.0	1.1520.900.920.94	0.94	0.87	0.89	0.89	0.89	0.88	0.89	0.91	0.90
	0	1.2501.820.910.95	0.92	0.80	0.82	0.92	0.74	0.72	0.84	0.84	0.84
15	4.0	1.190.830.740.77	0.77	0.87	0.84	0.77	0.90	0.88	0.79	0.79	0.79
	3.0	1.1700.850.780.80	0.80	0.88	0.86	0.86	0.77	0.89	0.90	0.82	0.82
	2.0	1.1570.880.810.84	0.88	0.85	0.87	0.87	0.86	0.88	0.90	0.85	0.85
	1.0	1.1200.890.900.91	0.89	0.91	0.91	0.91	0.90	0.88	0.91	0.91	0.91
	0	1.0800.931.101.04	0.89	0.89	0.82	1.07	0.82	0.81	0.81	0.81	0.97

表-5 解析結果と示方書に記載されている R_M （ピーク後）との比率

L/H	E_c/E_r	示方書の拘束係数 R_M ピーク後	比率（解析値から得られた外部拘束係数／示方書の外部拘束係数）								
			H=0.75			H=1.5			H=3.0		
			B=0.75	B=1.5	B=3.0	B=0.75	B=1.5	B=3.0	B=0.75	B=1.5	B=3.0
1	4.0	0.305.971.901.50	2.60	1.33	0.80	3.47	1.40	0.87	1.60	1.18	0.87
	3.0	0.4053.521.201.38	2.81	1.25	0.78	3.18	1.33	0.85	1.30	0.85	0.85
	2.0	0.5053.622.01.52	2.61	1.46	1.04	4.00	2.88	1.28	1.42	0.92	0.92
	1.0	0.904.091.781.22	1.97	1.11	0.74	2.64	1.23	0.83	2.30	0.83	0.83
	0	2.2020.931.291.29	1.95	1.11	0.90	0.31	2.43	1.40	1.01	1.11	1.24
5	4.0	1.051.421.140.95	1.02	0.95	1.00	1.14	0.95	2.63	1.60	1.18	1.18
	3.0	1.071.481.251.01	1.25	1.15	1.05	1.31	1.05	2.68	1.78	1.29	1.29
	2.0	1.121.491.191.14	1.24	1.14	1.34	1.42	1.14	2.60	1.84	1.39	1.39
	1.0	1.701.041.000.88	0.88	1.41	1.00	0.88	1.67	0.85	0.81	0.83	0.79
	0	1.701.181.171.05	1.05	1.18	1.12	1.53	1.13	2.11	1.24	1.24	1.24
10	4.0	1.241.020.900.87	0.97	1.05	1.00	1.14	0.97	0.82	0.96	0.95	0.87
	3.0	1.300.950.871.05	0.85	1.00	0.92	0.80	0.85	0.85	0.85	0.82	0.82
	2.0	1.301.000.880.88	0.88	0.92	0.85	0.87	0.85	0.81	0.83	0.80	0.82
	1.0	1.161.031.022.01	0.99	0.97	0.95	0.95	0.92	0.90	0.90	0.89	0.89
	0	1.071.301.401.17	1.18	1.03	1.40	1.13	1.07	1.07	1.07	1.11	1.11
15	4.0	1.090.730.830.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.73	0.77	0.83	0.76	0.76
	3.0	1.080.870.850.87	0.87	0.83	0.83	0.83	0.74	0.81	0.82	0.77	0.77
	2.0	1.060.950.890.92	0.89	0.85	0.85	0.85	0.75	0.85	0.89	0.85	0.81
	1.0	1.050.980.980.99	0.99	0.95	0.95	0.95	0.92	0.99	0.99	0.93	0.93
	0	1.071.251.421.11	1.14	1.40	1.49	1.03	1.03	1.21	1.11	1.64	1.64

ピーク後)の解析結果についてそれぞれ検討を行い、さらに、CP法での温度応力解析において、外部拘束係数の変化が応力に与える影響を、構造物の形状および外部拘束係数の変化をパラメータとして解析することによって調べ、その結果と合わせて外部拘束係数の評価を行うことにした。

4.1 軸拘束係数 R_N

解析から得られた軸拘束係数 R_N は、表-3に見られるように、全体に示方書の値より1.3～4倍程度大きな値となっている。しかし、 $E_c/E_r = 0$ のときは高さ H 、幅 B 、 L/H に関係なくほとんどのケースで比率が約1.0となっている。また、幅 B が0.75、1.5、3.0と厚くなるにつれてほとんどのケースで比率が1.0に近づいてくる傾向を示している。

4.2 曲げ拘束係数 R_M (ピーク前)

曲げ拘束係数 R_M (ピーク前)について、表-4に見られるように、 $H=0.75m$ 、 $B=0.75m$ 、 $L/H=1$ と $H=0.75m$ 、 $B=3.0m$ 、 $L/H=1$ の場合を除けば、全体的に示方書の値に対して解析値は比率が0.8～1.1と近い値を示している。

4.3 曲げ拘束係数 R_M (ピーク後)

曲げ拘束係数 R_M (ピーク後)については、表-5に見られるように、幅 B が3.0 mの場合で、高さ H 、 L/H 、 E_c/E_r に関係なくほとんどのケースで比率が1.0に近い値を示している。同様に、 $L/H=10$ 、15のとき幅 B が0.75、1.5 mの場合で、高さ H 、 E_c/E_r に関係なく比率が1.0に近い値を示している。しかし、 $L/H=1$ および5のときは、幅が0.75m、1.5 mで解析値は示方書の値より1.2～5.0倍程度大きな値となっている。

4.4 外部拘束係数の変化が応力に与える影響

CP法での温度応力解析において外部拘束係数の変化が応力にどの程度影響を与えるかを調べるために、図-4に示すように、図-3をX軸方向から見た解析モデルを対象として、 R_N を0.2、0.4、0.8、 R_M (ピーク前) および R_M (ピーク後) を0.5、1.0、1.5、と変化させ、CP法により温度応力を求め比較を行った。図-5～7に一例として、高さ $H=0.75m$ 、幅 $B=3.0m$ の場合における図-4に示す着目点の下段の応力の結果を示す。図-5より、軸拘束係数 R_N が0.2から0.8へと大きくなるにつれて、材令30日における応力が10kgf/cm²程度大きくなる傾向が認められる。曲げ拘束係数 R_M (ピーク前) については、図-

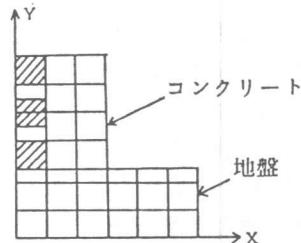


図-4 解析モデルおよび着目点

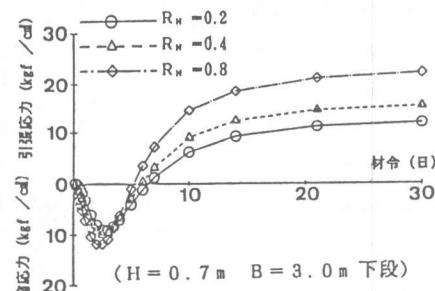


図-5 R_N が応力に与える影響

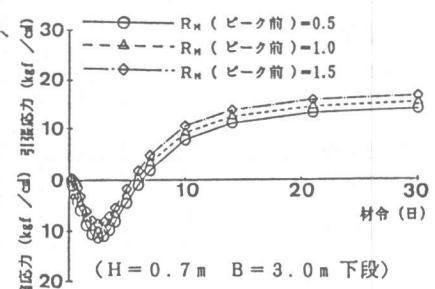


図-6 R_M (ピーク前) が応力に与える影響

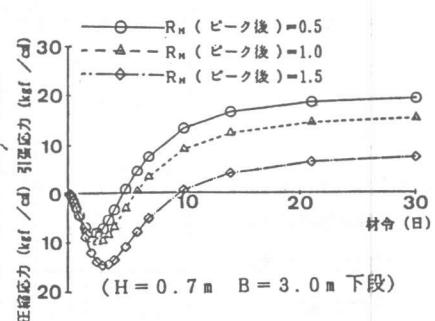


図-7 R_M (ピーク後) が応力に与える影響

6に示すように、 R_M （ピーク前）が0.5から1.5へと変化しても生じる応力にはほとんど差は見られない。また、曲げ拘束係数 R_M （ピーク後）については、図-7より R_M （ピーク後）が0.5から1.5へと大きくなるにつれて、材令30日における応力が10kgf/cm²以上大きくなる傾向が認められる。このことは、構造物の形状および着目点が変わっても同様の傾向が見られた。以上のことから、三次元的な取り扱いが必要な構造物に外部拘束係数を適用する場合、曲げ拘束係数 R_M （ピーク前）については、CP法において応力に与える影響力が小さく、また、表-4に見られるように三次元解析結果と示方書の値とに大きな違いがないため、示方書の値で問題はない判断される。しかし、軸拘束係数 R_N と曲げ拘束係数 R_M （ピーク後）は、CP法において応力に与える影響力が大きく、三次元解析結果と示方書の値とに大きな違いが見られるため、示方書の値に対して何らかの修正が必要である。すなわち、構造物の形状、 E_c/E_r および L/H の値の変化に応じて、示方書の値に何らかの修正係数 α を乗じ、三次元解析で得られた拘束係数の値に近づけることが必要である。そこで、軸拘束係数 R_N と曲げ拘束係数 R_M （ピーク後）について修正係数 α を以下のように提案した。

4.5 修正係数 α の提案

修正係数 α は、表-3～5に示す比率を基に、構造物の形状および拘束の程度ごとに整理して定めた。以下にその結果を示す。

a) 軸拘束係数 R_N に対する修正係数 α_N

- i) E_c/E_r が0の場合は形状に関係なくすべて $\alpha_N = 1.0$ とする。

- ii) i) 以外の場合は高さH、 L/H に関係なく幅Bの値により、図-8から α_N を決定する。

b) 曲げ拘束係数 R_M （ピーク後）に対する修正係数 α_M

- i) 形状および E_c/E_r の値に関係なく、 L/H が5～15の場合すべてと、高さHと幅Bの比 H/B が1.0より小さい場合すべて $\alpha_M = 1.0$ とする。

- ii) i) 以外の場合は、高さHと幅Bの比 H/B の値により図-9から α_M を決定する。

ここで、図-8において、幅Bの値が大きくなるにつれて修正係数 α_N が1.0に近づいていく、また、図-9において、 H/B の値が0に近づくにつれて修正係数 α_M が1.0に近づく。これは、構造物が二次元的なスラブ状構造物に近づくため、解析結果が二次元有限要素法にて得られた示方書の外部拘束係数に近づいてくることを示している。

5. 解析結果の検討

5.1 修正係数の精度についての検証

壁厚の影響を考慮し三次元的な取り扱いが必要となる構造物において、示方書に記載されている外部拘束係数を用いてCP法により求めた応力と、修正係数 α で修正した外部拘束係数を用いてCP法により求めた応力、および三次元有限要素解析から求めた応力の3種類の応力を比較して、修正係数 α_N および α_M の適応性ならびに精度を調べた。ところで、マスコンクリートの温度応力委員会報告書²⁾に、スラブ状構造物を対象として示方書に記載されている外部拘束係数の

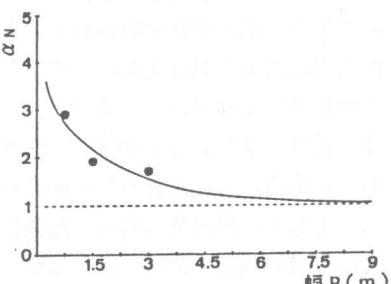


図-8 修正係数 α_N

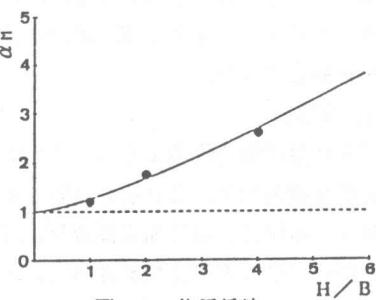


図-9 修正係数 α_M

同定の際に行われた外部拘束係数の検証が述べられている。そこでは、同定された外部拘束係数を用いてCL法により求めた応力と、二次元有限要素法から得られた応力は、ほとんど同じであることが示されている。したがって、対象を二次元から三次元に拡大しても、三次元有限要素法により同定された外部拘束係数を用いてCP法により求めた応力と、三次元有限要素法から得られた応力は、ほとんど一致すると考えられる。

今回の解析において、三次元有限要素解析から得られた応力との比較を行う場合、その応力の値を三次元有限要素法から同定された外部拘束係数を用いてCP法により求めた応力に置き換えて比較を行った。

5.2 比較および検討

図-10～11に3種類の解析による応力履歴の例を示す。示方書に記載されている外部拘束係数を用いた場合の応力は、三次元解析から得られた応力とかなり差を生じてゐる。これに対して、修正係数 α を用いた場合は、三次元解析から得られた応力とほとんど等しい応力が得られている。そして、構造物の形状、拘束状態が変化しても同様の傾向を示した。したがって、三次元的取り扱いの必要な構造物にCP法を適用する場合、修正係数 α を用いて温度応力の算定を行うことにより、より正確な応力を推定することが可能となった。

6. 結論

(1) 壁状構造物のような三次元的取り扱いが必要な構造物に、CP法を適用して温度応力を算定する場合、曲げ拘束係数 R_M （ピーク前）

については示方書に記載されている値をそのまま使用してもほとんど問題はないが、軸拘束係数 R_N と曲げ拘束係数 R_M （ピーク後）に関しては、示方書に記載されている外部拘束係数の値を修正する必要があることが明らかとなった。

(2) 三次元有限要素法から得られた外部拘束係数と示方書に記載されている外部拘束係数を比較することにより、図-8、図-9に示すような R_N および R_M （ピーク後）に対する修正係数 α_N 、 α_M を提案した。そして、CP法の温度応力解析においてこれらの修正係数を用いることにより、より正確な温度応力を推定することが可能となった。

なお、本研究の一部は、平成元年度文部省科学研究費総合研究A（課題番号01302041）を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 土木学会「コンクリート標準示方書」
- 2) マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書 1986年10月 日本コンクリート工学協会編

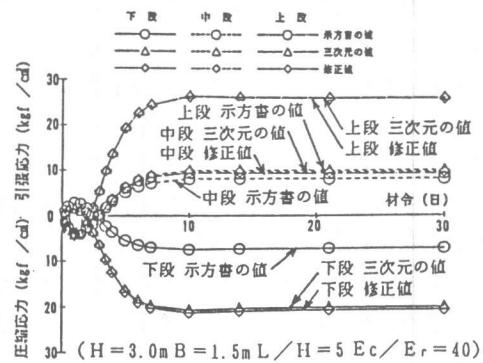


図-10 CP法における解析結果との比率

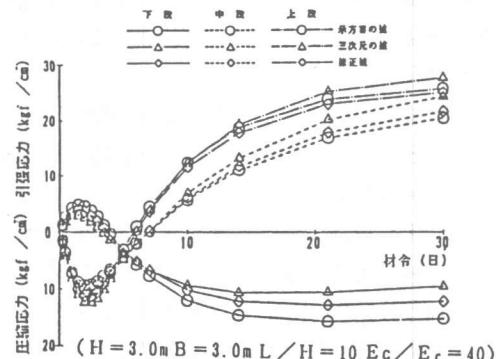


図-11 CP法における解析結果との比率