マスコンクリートの温度応力解析における CP 法の適用に関する考察

東北学院大学　学生会員　○遠藤貴之
東北学院大学　正 会 員　石川雅美
東北学院大学　正 会 員　遠藤孝夫

1.　はじめに

ＣＰ法は、マスコンクリート温度応力解析手法として、広く一般に使用されている。それゆえ、壁状の構造物において代表的な温度ひび割れ対策であるひび割れ誘発目地の検討にも用いられることが多い。しかしながら、誘発目地の検討において、目地間隔を L として解析を行った場合、CP 法の前提条件との違いから、その解析結果が危険側となる可能性がある。本研究ではその問題点を指摘し、どの程度の危険側となるかを検討する。

2. CP 法を誘発目地の検討に用いる際の問題点

一般的な温度応力の検討例ＣＰ法を用いて図 1 に示すような長さ L の壁状構造物の場合を考える。この場合、まず拘束長を L として温度応力を計算する。その結果、ひび割れ指数が所定の安全係数 γ_{cr} を満足しない場合には、例えば L/3 間隔でひび割れ誘発目地を設置するとして再度 CP 法による温度応力を計算する。このとき、拘束長として L/3 を用い、誘発目地による対策の有効性を評価する。

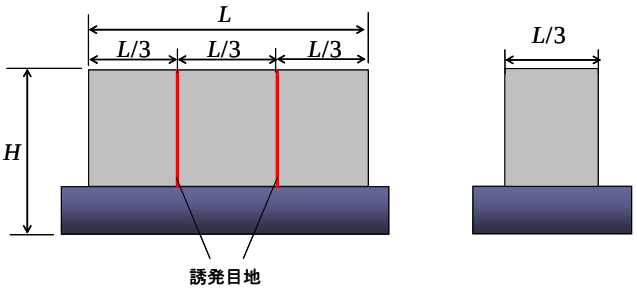

図 1　長さ L の壁状構造物

一般的なひび割れ誘発目地の使用では、目地位置でコンクリート不連続となるものの、鉄筋はつながった状態にある。それゆえ、目地と目地の間のコンクリートは、鉄筋によってある程度の拘束を受けることになる。しかしながら CP 法では、長手方向の両端は完全に自由であるとして定式化されているため、上記の拘束長さを L/3 とした計算結果は危険側の値を与えることになる。

3. 解析モデル及び解析条件

鉄筋の拘束が、CP 法の解析結果に対してどの程度の影響を及ぼすかを検討するため、底辺の幅 10.8m、高さ 2.5m、壁部の厚さ 2.8m、高さ 4.45m、長手方向 30.0m の壁状構造物を考える。図 2 に示す FEM モデルは構造物の対称性を考慮した 1/4 モデルである。この壁部に 5m おきにひび割れ誘発目地を 3 ヶ所設置する。解析プログラムは 3 次元 FEMASTEAMACS V4.（RCCM 社）、CP 法では 2 次元の温度解析も含めて JCMAC1 を使用した。なお CP 法の解析モデルは、3 次元 FEM の断面方向のメッシュを同一分割とした。また、底版と壁の打設間隔は 15 日とした。

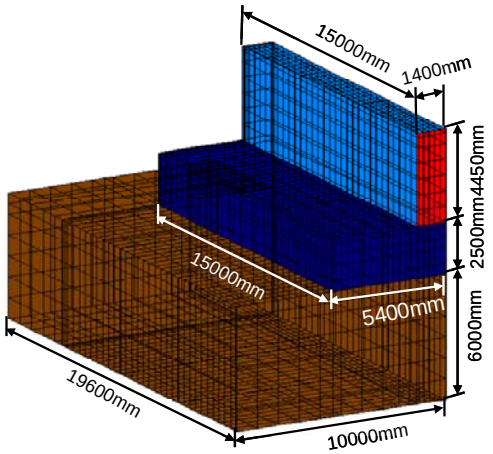

図 2　壁状構造物の 3 次元モデル

解析条件をまとめて表 1 に示す。また、CP 法の外部拘束係数を表 2 に示す。

表 1　解析条件一覧

材料種別		地盤	コンクリート	
部位			底版	壁
打設温度(℃)		−	25	
熱伝導率(W/m℃)		1.7	2.6	
比熱(kj/kg℃)		0.8	1.2	
単位体積重量(kg/m^3)		2600	2300	
熱伝達率(W/m^2℃)	型枠	14(地表面の熱伝達率)	14	
	脱枠後		14	
	養生時		8	
	養生後		14	
セメントの種類		−	高炉B種	
単位セメント量(kg/m^3)		−	300	
圧縮強度(N/mm^2)	f'ck(28)	10	24	
引張強度(N/mm^2)		10	f'tk=0.44$\sqrt{f'c(t)}$	
弾性係数		400	Ee(t)= ϕ (t)・4.7x10$^3\sqrt{f'c(t)}$	
ポアソン比		0.2	0.167	
線膨張係数(1/℃)		10μ	10μ	

表 2　解析に用いた CP 法の外部拘束係数

リフト	底版	堅壁
Ec/ER	50.00	50.00
L(m)	30.00	30.00
H(m)	2.50	※2.5＋4.45＝6.95
L/H	12.00	4.32
R_N	0.14	0.01
R_{M1}	0.96	0.48
R_{M2}	1.25	0.90

L=30m

リフト	底版	堅壁
Ec/ER	50.00	50.00
L(m)	30.00	5.00
H(m)	2.50	※2.5＋4.45＝6.95
L/H	12.00	0.71
R_N	0.14	0.00
R_{M1}	0.96	0.01
R_{M2}	1.25	0.06

L=5m

4. 解析結果の比較結果

図 4 は 3 次元 FEM と 2 次元 FEM による温度解析結果の比較である。両者の値はほぼ等しいと見なすことができる。

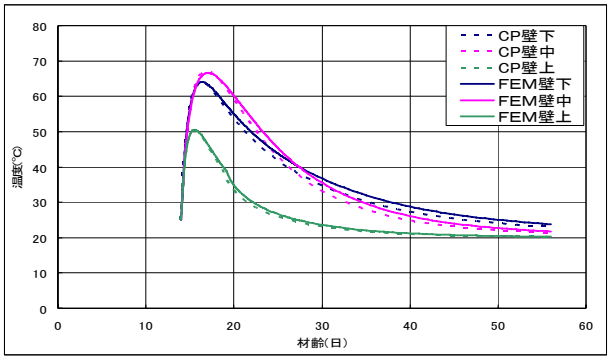

図 4　温度解析結果の比較

図 5 は L=30m（目地なし）とした場合の応力解析である。CP 法と 3 次元 FEM の応力解析結果は良好に対応しており、かつ CP 法の結果は FEM に対して安全側となっていることが確認できる。

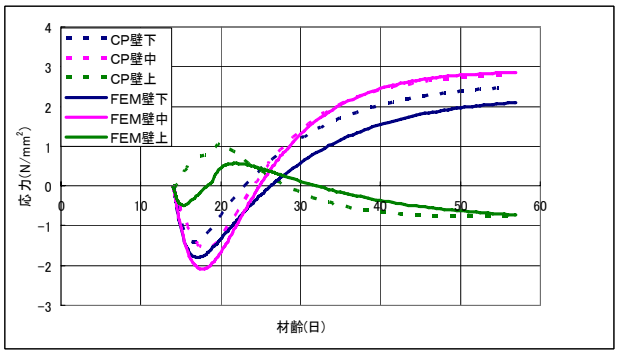

図 5　L=30m としたときの応力解析結果

次に 5m 間隔で誘発目地を設置した場合を考える。FEM では、図 2 のモデルの誘発目地にジョイント要素を入れ、引張強度の 60%に達した時点でひび割れを発生させる。また配力方向の鉄筋比を 0.5%とした。CP 法では表 2 に示した L=5m の時の外部拘束係数を用いる（CP 法では鉄筋を考慮していない）。

この応力解析結果を図 6 に示す。この図より、いずれの部位においても、CP 法は安全側の結果となっていることが確認できる。

もう一つの検証法として、図 7 に示すボックスカルバートを考える。この例でも、長手方向の長さは 30m とし、目地間隔を 5m とする。壁と頂版は一括打設と仮定した。その他の解析条件は先の例と同じである。また、図 2 と同様に、温度解析の結果は 2 次元と 3 次元とでほぼ一致している。L＝5m としたときの拘束係数は、それぞれ、RN=0.00、RM=0.01、RM2=0.05 である。図 8 に示す解析結果は FEM に対して大幅に安全側となっていることが確認できる。

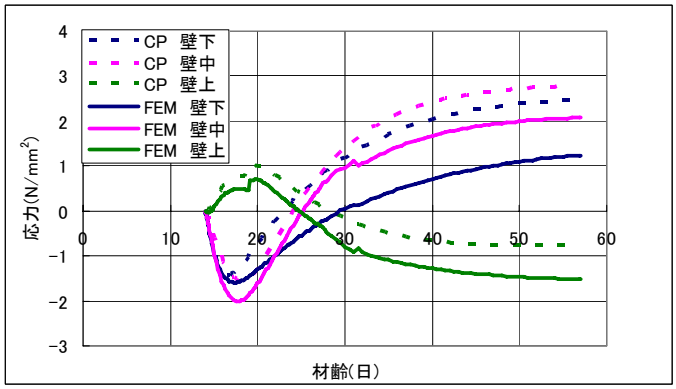

図 6　CP 法と誘発目地をモデル化した FEM の比較

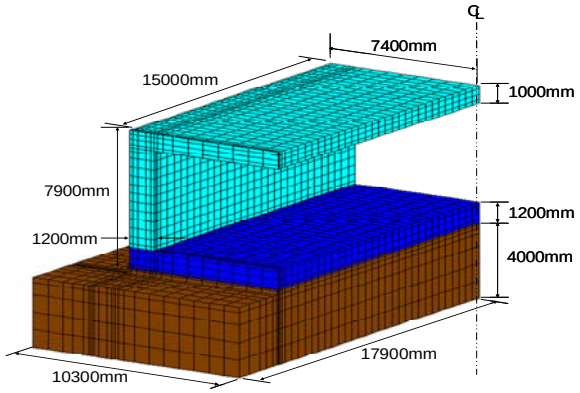

図 7 ボックスカルバートの例

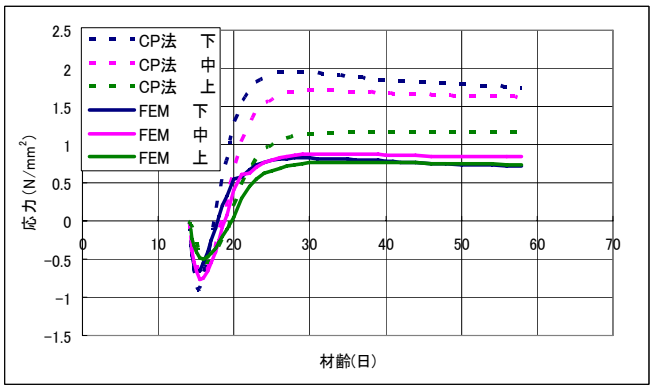

図 8　ボックスカルバート解析結果の比較

4. まとめ

鉄筋比を 0.5%とし、誘発目地をモデル化した壁状構造物の 3 次元 FEM 解析を行い、誘発目地間の応力を算出した。これと同じモデルの CP 法の解析結果の比較を行い、鉄筋拘束を考慮していない CP 法の解析結果が危険側となるか否かを検討した。その結果、CP 法の前提条件として長手方向両端を完全自由端として定式化されているとしても、通常の配力筋量の範囲では、安全側の結果を与えることを確認した。