

(83) 大型構造物実験用-PC反力壁の施工 およびコンクリートの長期変形状

東急建設技術研究所 ○山本俊彦
前田強司

1. はじめに

東急建設新技術研究所の大型構造物実験用反力壁は、高さ18m、幅13m、厚さ4.5mのPC構造物である。壁の負担最大モーメントは20,000tonf・m、最大せん断力は4,000tonfである。断面が大きく温度ひび割れが予測されるため、事前にコンクリートの配合、施工法(打ち込み高さ、クーリング)の検討とコンピュータシミュレーションを行った。実施工ではコンクリートの温度およびひずみの計測を行い、温度ひび割れ対策の効果を確認した。また、コンクリートの長期的な乾燥収縮およびプレストレスによるクリープを測定するため、実構造物にひずみ計を埋込み長期測定を行なった。同時に寸法効果を見るため、断面10cm、25cm、50cm角柱により乾燥収縮およびプレストレスによるクリープひずみを測定し、実構造物と比較した。

2. PC反力床・壁構造概要

本構造物は、図-1に示すように2つの反力床と、大小2つの反力壁により構成されている。反力床は厚さ5.5mで、1.75mの上・下床板と2.0mの隔壁からなっている。反力壁は、高さ18m、幅13m、厚さ4.5mと高さ8m、幅10m、厚さ2mの2つからなっている。コンクリートの設計基準強度は350kgf/cm²、設計プレストレス量は反力床で52.4kgf/cm²、反力壁で51.4kgf/cm²(大)35.6kgf/cm²(小)である。

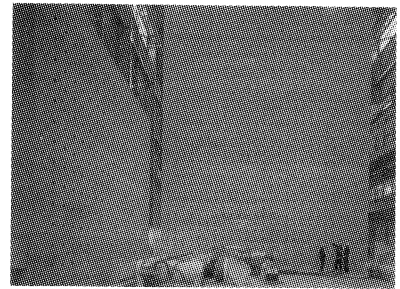


写真-1 PC反力床・壁

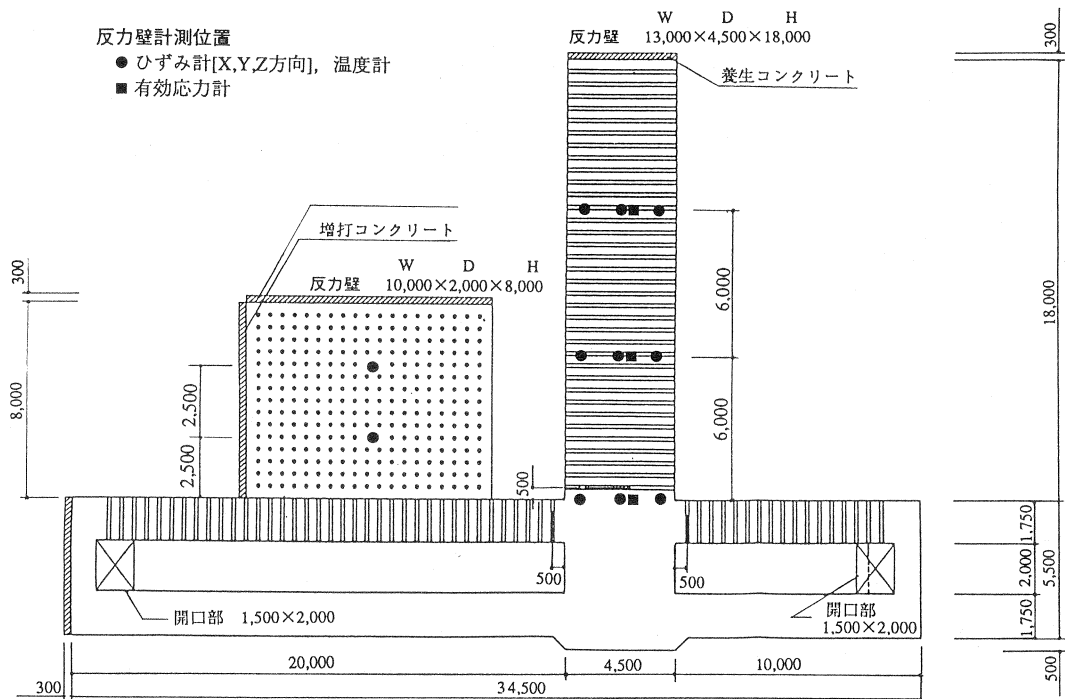


図-1 PC反力床・壁断面図

3. 施工前の検討

3.1 施工方法の検討

本反力壁は、幅13m、厚さ4.5mと断面が大きく、コンクリートの単位セメント量が配合表に示すように349kg/m³程度と大きいため、一回の打設高さを高くすると温度ひびわれ発生の危険性が高くなると予測された。このため、以下に示す温度応力解析と、温度ひびわれ対策の効果を確認するために反力床隔壁部で温度応力計測を実施した。

3.2 温度応力事前解析

一回の打込高さ(h)を0.5m~2.0mと変化させて温度応力解析を実施した。解析は文献1に示される方法および諸定数を用いた。解析結果を図-2、3に示す。コンクリート壁体中央部の温度上昇量はh=0.5mで約22℃、h=1.0mで約35℃、h=2.0mで約46℃となった。発生する温度応力は、h=0.5mで約15kgf/cm²、h=1.0mで約25kgf/cm²、h=2.0mで約39kgf/cm²となり、一回の打込み高さが高いほど温度上昇量、温度応力とも大きくなった。

3.3 温度ひびわれ対策の検討および実測

本反力壁に適した温度ひびわれ対策として、以下に示す①、②の方法を検討した。この温度ひびわれ対策を、反力床隔壁(図-4)で採用しその効果を温度計測して確認した。

①水和熱抑制剤使用：セメントの水和発熱を抑制し、コンクリートの温度上昇量を低減させる。2種類を比較。

②パイプクーリング：水道水を利用したクーリングおよび送風機を用いたエアークーリング。

①については、事前に配合試験および断熱温度上昇試験を実施した。配合および試験結果を表-2、3に示す。また②のクーリングは、図-4に示す位置にパイプを配置した。なお、水道水の温度は13~15℃、送風機からの空気温度は18~22℃であった。

図-5に、各温度ひびわれ対策の反力床隔壁(幅

表-1 コンクリート基準配合

Gmax (mm)	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
20	8±2.5	4±1	45.0	45.9	157	349	827	994	0.87

セメント：普通ポルトランドセメント(比重=3.16)
 細骨材：相模川・君津産砂(比重=2.57, F.M=2.80)
 粗骨材：八王子美山産砕石(比重=2.60, F.M=6.72)
 混和剤：A E減水剤

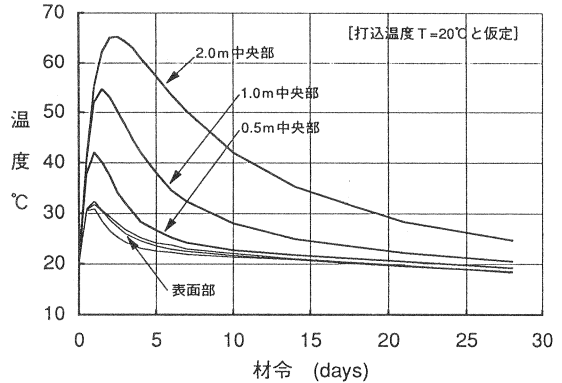


図-2 温度解析結果

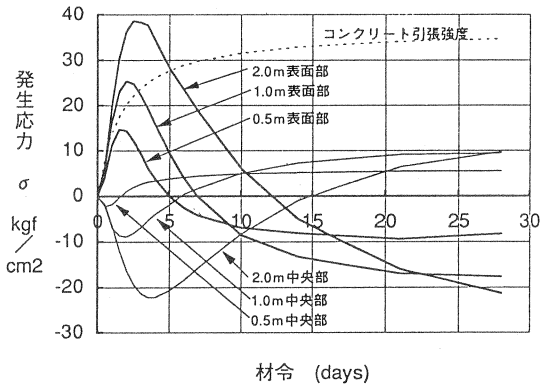


図-3 温度応力解析結果

表-2 コンクリート配合表

No.	セメント 種類	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)								
						W	C	S	G	Ad1	Ad2	Ad3	Ad4	
1	普通	8±2.5	4±1	45.0	45.9	164	364	865	976	0.91	-	-	-	-
2	高炉B	8±2.5	4±1	45.0	47.4	151	336	860	974	-	6.72	-	-	-
3	高炉B	8±2.5	4±1	45.0	47.4	151	336	860	974	-	6.72	10.08	-	-
4	高炉B	8±2.5	4±1	45.0	45.9	157	349	827	994	-	-	-	-	3.49

セメント：普通ポルトランドセメント(比重=3.16) 混和剤：Ad2, 高性能A E減水剤
 細骨材：相模川・君津産砂(比重=2.57, F.M=2.80) Ad3, 水和熱抑制剤(D)
 粗骨材：八王子美山産砕石(比重=2.60, F.M=6.72) Ad4, 水和熱抑制剤(S)
 混和剤：Ad1, A E減水剤

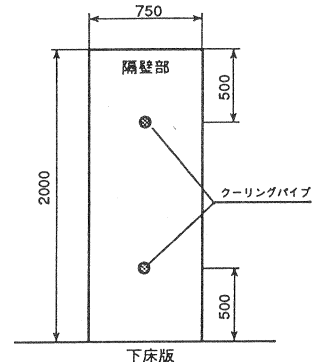


図-4 隔壁寸法およびクーリングパイプ位置

表-3 配合試験結果

No.	SL (cm)	Air (%)	C-Temp (°C)	Bleeding (%)	圧縮強度試験結果 (kgf/cm ²)			
					3d	7d	28d	56d
1	6.5	5.6	23.0	0.80	257	348	411	463
2	8.0	4.8	23.0	0.28	173	290	452	522
3	7.0	4.5	22.0	0.28	149	281	446	536
4	6.5	3.0	21.5	—	101	314	407	—

0.75m、高さ2.0m) 中央における温度実測結果を示す。水和熱抑制剤は種類によりその効果に大きな差が表れ、(D)の温度上昇量は約20℃となり対策をしない配合に比べ約14℃の低減があった。またクーリングの効果は、水道水を用いた場合約10℃の低減効果があったが、送風機を用いたエアクーリングの場合その効果はわずかであった。

以上のことから、反力壁におけるコンクリート打設高さは、水和熱抑制剤を用いた場合1.0m以下、無対策の場合0.5m程度以下が適切と判断された。実際には、実験機器取り付け用貫通孔間隔を考慮して、コンクリート打設高さを第1段(0.75m)を除き0.5mとし、表-1に示す配合で温度管理を実施しながら施工した。

4. 実験・計測結果

4.1 コンクリート温度

図-6に反力壁第1段中央部のコンクリート温度変化を示す。打設時のコンクリート温度は28.7℃で打設後約17時間で最高温度51.6℃に達した。温度上昇量は22.9℃で打設高さ0.5mの計算予測値に近かった。これより上段は打設高さ0.5mであり、温度ひび割れに対し安全と判断された。その後、温度は低下し外気温の影響を受けて変化した。また、反力壁全体でのひび割れの発生は見られなかった。

4.2 反力壁の歪変化

図-7～図-9に反力壁の各断面での歪変化を示す。各断面ともコンクリート打設後、乾燥収縮・クリープにより圧縮歪が増大する。実際のプレストレスは、有効率 $\eta=0.85$ として60.4kgf/cm²を導入した。プレストレスの導入により鉛直方向の歪は増大するが、水平2方向(短辺・長辺)の歪はほとんど変化しなかった。プレストレス導入時の歪は、プレストレス導入に日数を要し初期クリープ歪が加算され、弾性計算値に比べかなり大きな値を示した。材令332日までのコンクリート最大歪は、鉛直方向で500 μ ～600 μ となった。

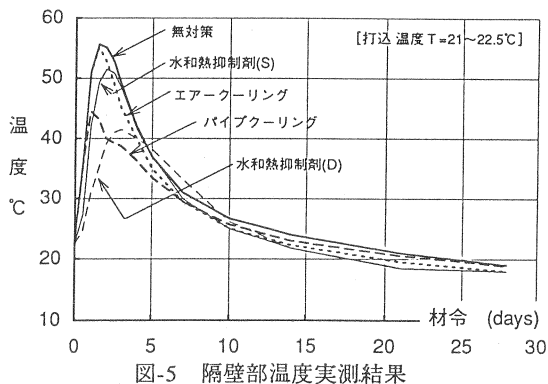


図-5 隔壁部温度実測結果

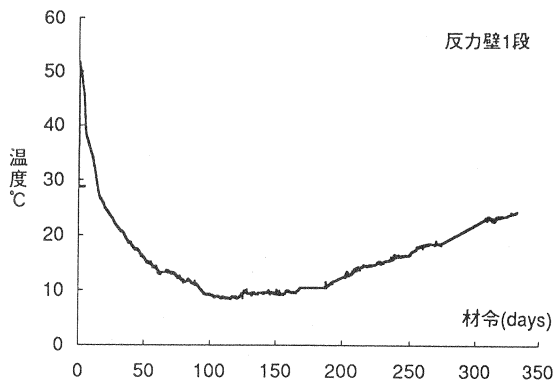


図-6 反力壁コンクリートの温度変化

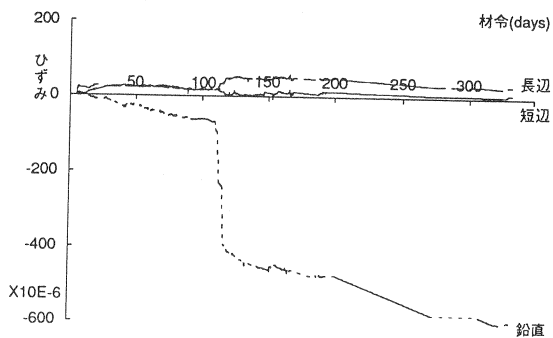


図-7 反力壁コンクリートの歪変化(第1段)

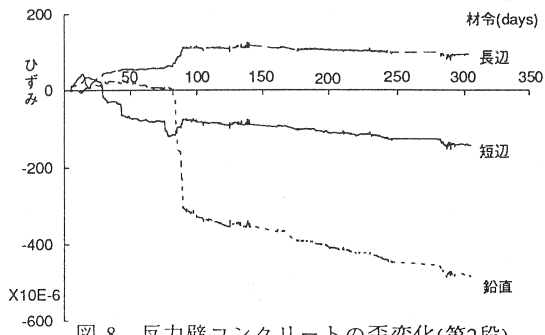


図-8 反力壁コンクリートの歪変化(第2段)

4.3 クリープ・乾燥収縮実験

4.3.1 試験体

試験体の形状は、 $10 \times 10 \times 40$ 、 $25 \times 25 \times 50$ 、 $50 \times 50 \times 100$ の3種類で、有筋(除 $10 \times 10 \times 40$)・無筋それぞれ3体とした。軸方向鉄筋量は、実構造物と同じ0.32%とした。試験体は、材令5日で脱型し反力壁と同様な養生条件とした。現場水中養生供試体コンクリートの圧縮強度は材令28日で 409 kgf/cm^2 、ヤング係数は $2.94 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であった。

4.3.2 乾燥収縮

図-10にそれぞれ各3体の試験体の平均歪の変化を示す。試験体の歪は大きさによってかなり異なった。初期材令では歪の増大は急速に進むが、その後周辺的环境温・湿度により変化する。断面の小さいもの程歪の値は大きく、また、鉄筋の影響も表れた。材令277日までの歪は、 $10 \times 10 \times 40$ で 1000μ 、 $25 \times 25 \times 50$ で $500 \mu \sim 600 \mu$ 、 $50 \times 50 \times 100$ で 300μ 程度となった。

4.3.3 クリープ

図-11にクリープ試験体の全歪を示す。クリープ荷重は実構造物と同じ 60 kgf/cm^2 とし、その荷重は実際の反力壁の施工に合わせて材令47日で行った。荷重時の歪は荷重に時間を要したため弾性計算値に比べやや大きくなった。材令277日までの歪は、試験体の形状・鉄筋の有無で異なり $1000 \mu \sim 1500 \mu$ 程度の値を示した。クリープ荷重後の全歪から乾燥収縮試験体の歪を引算し、荷重時歪をもとに歪増大率を求めると、材令277日で $1.6 \sim 1.9$ となった。CEB-FIP[2]による試験体の終局クリープ係数は、 $2.7 \sim 2.9$ 程度と予測される。クリープ試験体と反力壁の実測歪とを比較すると、 $50 \times 50 \times 100$ 試験体で 1.7 倍 ~ 2.0 倍の歪となり寸法による違いが大きかった。

5. まとめ

本反力壁は、断面が大きく温度ひびわれ発生の危険性が予測されたため温度応力解析と実測を行い、コンクリートの打設高さを $50 \sim 75 \text{ cm}$ に制限し、ひび割れの発生を防止した。また、反力壁コンクリートの歪は、材令332日で $500 \mu \sim 600 \mu$ 程度の値を示し、クリープ試験体に比べてかなり小さな値を示した。コンクリートの歪は断面の影響がかなり大きく表われた。

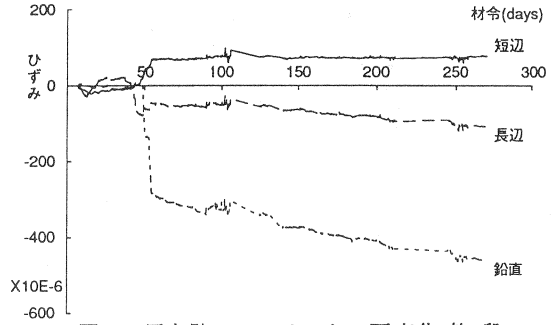


図-9 反力壁コンクリートの歪変化(第3段)

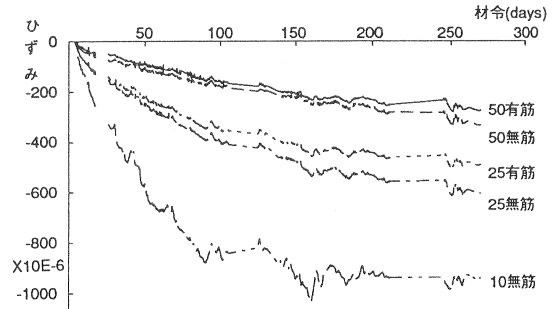


図-10 自然放置試験体の歪の変化

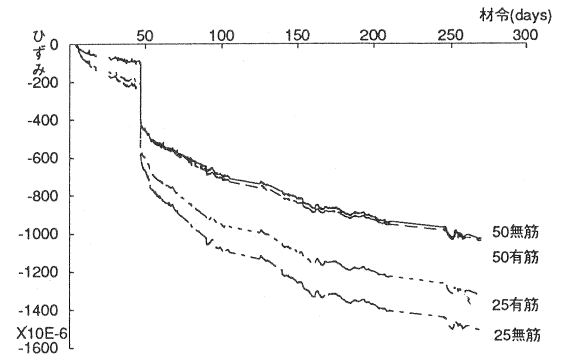


図-11 クリープ試験体の歪の変化

参考文献

- [1] 土木学会：コンクリート標準示方書、1991.
- [2] CEB-FIP：Structural Effects of Time-dependent Behaviour of Concrete, 1984.