

岩着コンクリートに発生した温度応力クラックの要因分析と抑制対策

農林水産省 農業工学研究所

長束 勇

同 上

浅野 勇

日本工営（株）中央研究所

○正会員 桜井 達朗

1. はじめに

中華人民共和国遼寧省で建設中の重力式コンクリートダムである白石ダムにおいて、1996 年秋に打設された岩着コンクリート（厚さ約 2m）の全てのブロックにダム軸と平行方向のクラックが翌年春に発見された。発生形態から、このクラックは温度応力に起因するものであると考えられた。そこで、クラック発生に至った要因を分析することを目的として、現地の打設条件をパラメータとする 2 次元有限要素法による温度履歴解析及び温度応力解析を行った。本報告は、ここで得られた知見について報告するものである。

2. 検討内容

2.1 クラックの発生状況

図-1 に示すように、1996 年秋に 3 リフトで打設された層厚 1.95m の底孔部岩着コンクリート部のすべてのブロックにおいて、翌年春、クラックが発見された。BL.17～BL.23 は、中央部に施工目地が挿入されレア長が短くなっているにも拘わらず、上下流ブロック共にクラックが発生していた。クラック幅は 0.5～0.9mm で、いずれのクラックもダム軸と平行の方向を主とするものであった。

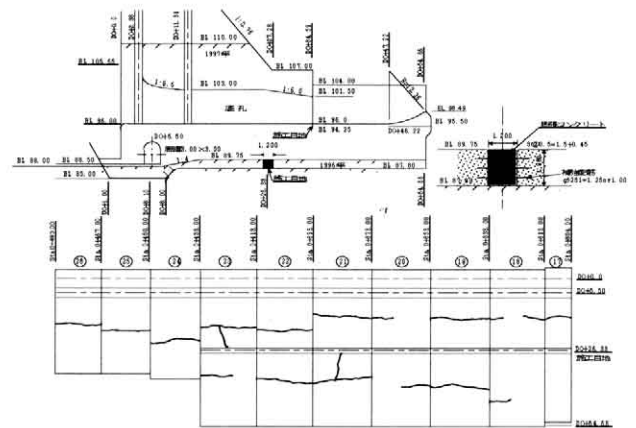


図-1 クラック分布

2.2 クラック発生の要因

2.2.1 基礎岩盤の弾性係数の影響

ダム軸左岸の既存調査横抗において平板載荷試験が実施されている（表-1）。施工前の抑制対策の検討に際しては、掘削基礎地盤に潜在緩み亀裂が残るものと考え、この試験結果の最低値付近に基礎岩盤の弾性係数を想定し、7,000MPa として解析を行っている。しかしながら、底孔部の基礎岩盤は、想定したものより極めて堅固であった可能性があり、弾性係数が 10,000MPa 程度まで期待できることも考えられる。このことから、結果として外部拘束の影響をより大きく受け、温度応力的に不利になった可能性がある。

表-1 平板載荷試験結果

単位：MPa

試験番号	変形係数	接線弾性係数	割線弾性係数
Ⅲ-2-7E	3,860	9,090	2,450
Ⅲ-2-8E	3,030	6,990	6,730
Ⅲ-2-9E	5,050	9,090	5,200

2.2.2 湛水養生期間の影響

クラック抑制対策の検討で設定した湛水養生期間は、1996 年 11 月 16 日から 1997 年 3 月 1 日である。しかし、3 月 1 日以前から現場では水抜きは始まっていたことから、実質的な湛水養生期間は短かった可能性がある。その結果、内部拘束の影響をより強く受け、温度応力的に不利になった可能性がある。

キーワード：温度応力、クラック、養生、有限要素法

日本工営株式会社中央研究所（茨城県稲敷郡茅崎町稲荷原 2304、TEL 0298-71-2033、FAX 0298-71-2022）

2.2.3 打込み温度の影響

外気温、打込み温度について、施工前に検討した解析時の想定値と実測値を比較すると、表-2 のとおりである。特に、リフト 2 の打設時の外気温は高く、その影響を受けて打込み温度も高くなっている。このことから、岩着コンクリートの最高温度が高くなり、温度応力的に不利になった可能性がある。

2.3 検討ケースの設定

岩着コンクリート部でのクラック発生は、上述した要因が複合的に影響し合ったことによるものと考えられる。そこで、これらの要因によって生じる引張ひずみの増大の程度を把握し、今後実行可能で有効なクラック発生抑制対策と考えられる湛水養生期間の延長の効果を検証するため、表-3 に示す検討ケースを設定し温度応力解析を実施した。解析対象は、施工目地から下流のブロック（D0 +26.33～D0+54.66、レア長 28.33m）である。ケース 1 は施工前に検討した解析条件による場合、ケース 2 は実際の施工時の条件で基礎岩盤の弾性係数・湛水養生期間・打込み温度の影響が複合した場合、ケース 3 はケース 2 に対し湛水養生期間を延長した場合、ケース 4, 5, 6 は、ケース 1 に対し、基礎岩盤の弾性係数、湛水養生期間、打込み温度について、それぞれの影響のみをみた場合である。

2.4 解析結果

解析結果から得られた各リフトの上下流方向断面での最大引張ひずみは、表-4 のとおりである。解析結果によれば、ケース 2 のリフト 2 において、 103×10^{-6} (103μ) の引張ひずみが発生しており、クラック発生の可能性が高いことを示している。すなわち、基礎岩盤が極めて堅固で、リフト 1, 2 の打込み温度が想定していた値よりも高く、かつ湛水養生期間が必ずしも十分でなかったことなどが複合的に影響し合っ、クラック発生に至ったものと推察される。これに対して、ケース 3 のように、湛水養生期間を十分に確保すれば、最大引張ひずみは許容引張ひずみ以下に下がり、クラック発生確率は相当押さえられる可能性があることがわかる。個々の要因については、打込み温度の影響が最も大きかった。また、基礎岩盤の弾性係数の影響は、弾性係数を 7,000MPa から 10,000MPa にすると、引張ひずみは概ね 1.2 倍増大している。湛水養生期間については、越冬表面であるリフト 3 がリフト 1, 2 に比べ大きく影響を受け、適切な養生期間を設定すれば効果の度合いは大きくなると考えられる。

3. おわりに

以上の検討結果を踏まえて、白石ダムにおけるその後の岩着コンクリートの施工管理については、次の点に留意する必要があることを提案した。①岩着コンクリートは、温度応力的に外部拘束の影響が大きく、そのため打込み温度の影響を大きく受けると考えられる。従って、できる限り打込み温度を低くするよう配慮する必要がある。②仮に温度応力的に悪条件が重なったとしても、湛水養生期間を十分に確保すれば、クラック発生の抑制に対し大きな効果があると考えられる。従って、少なくとも湛水養生を短縮しないこと、できれば 2 週間程度延長することが望ましい。

表-2 底孔部（BL.20）打設時の外気温、打込み温度

リフト	打設日	解析時想定値(°C)		実測値(°C)	
		外気温	打込み温度	外気温	打込み温度
1	'96.10.09	10.1	12.1	2～20	9～17
2	'96.10.12	9.3	11.3	8～25	13～17
3	'96.10.16	8.2	10.2	2.5～9.5	8～11

表-3 検討ケース

検討ケース	基礎岩盤弾性係数(MPa)	湛水養生期間	打込み温度(°C)		
			リフト 1	リフト 2	リフト 3
ケース 1	7,000	11/16～3/01	12.1	11.3	10.2
ケース 2	10,000	11/16～2/20	17.0	17.0	11.0
ケース 3	10,000	11/16～3/15	17.0	17.0	11.0
ケース 4	10,000	11/16～3/01	12.1	11.3	10.2
ケース 5	7,000	11/16～2/20	12.1	11.3	10.2
ケース 6	7,000	11/16～3/01	17.0	17.0	11.0

注) ケース 2,3,6 の打込み温度は、実測値の最大値とした。

表-4 最大引張ひずみ一覧表

検討ケース	リフト 1	リフト 2	リフト 3
ケース 1	39	39	46
ケース 2	91	103	69
ケース 3	85	93	48
ケース 4	46	48	56
ケース 5	40	42	53
ケース 6	79	88	49