

「温度応力解析による橋台のクラック抑制対策について」

工事名：「令和元年度 1号清水立体 横砂跨道橋西下部工事」

地区名 静岡地区
会社名 平井工業株式会社
執筆者 現場代理人 平岡利一(技術者番号 00107952)

(工事概要)

工事箇所： 静岡市 清水区 横砂

工期： 令和2年4月28日～令和3年3月30日

請負金額： ￥319,121,000-

発注者： 国土交通省 中部地方整備局 静岡国道事務所

工事概要： 橋梁下部工(横砂跨道橋 A2橋台)

橋台工 1式 場所打ち杭工 $\phi 1200$ L=16.5m N=28本

橋台躯体工 W=18.0m×H=11.7m×L=6.9m

擁壁工 1式 場所打ち杭工 (上り線側) $\phi 1500$ L=15.0m N=6本

(下り線側) $\phi 1500$ L=16.0m N=6本

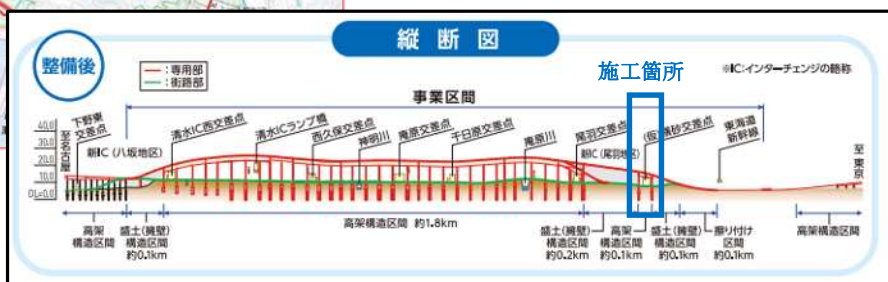
逆T式擁壁 W0.9m×H=19.0m×L=7.8m 2基

仮設工 1式 鋼矢板仮締切 鋼矢板IV型(自立式) L=14.0m N=228枚

1. はじめに

国道1号静岡バイパス清水立体は、バイパスの起点に位置し、静岡市清水区横砂東町～八坂西町を結ぶ延長2.4kmを高架構造にする事業で、交通安全、環境保全を目的にした事業である。

本工事は、横砂北交差点の本線立体交差となる区間であり、横砂跨道橋A2橋台及び橋台背面アプローチ部の逆T式擁壁の築造がメインとなる工事であった。

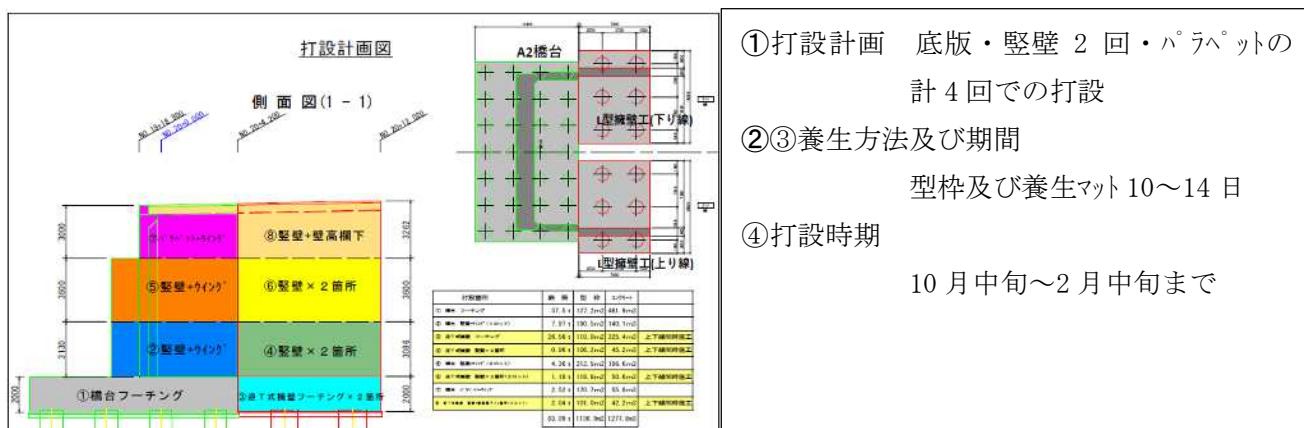


本工事の懸案事項として、橋台の幅が 18.0m となるマスコンクリートである為、温度応力によるひび割れ発生の対策が挙げられた。コンクリート打設計画及び養生方法、養生期間、施工時期を考慮したうえでひび割れが発生する可能性及び、ひび割れが発生すると予測した場合そのひび割れに対しての抑制方法の検討を目的として FEM 温度応力解析を実施することにした。

ここでは、橋台の施工時に懸念される温度ひび割れの発生確率を事前に予測し、施工方法を選定するために FEM 温度応力解析を行い、ひび割れ抑制対策を実施した内容について述べる。

2. 温度応力解析の結果

温度応力解析を正確に行う為には、①コンクリートの打設計画 ②各部位の養生方法 ③養生期間計画 ④打設時期 の 4 項目の情報が必要である。この情報を含め温度応力解析を行った。



- ①打設計画 底版・壁壁 2 回・パラペットの計 4 回での打設
- ②③養生方法及び期間 型枠及び養生マット 10～14 日
- ④打設時期 10 月中旬～2 月中旬まで

本工事の解析においてひび割れが発生した場合であってもその幅が過大にならないように制限することを目標として、安全係数を 1.0 に設定した。ひび割れ指数は発生する応力とコンクリートの引張強度の比率で表される数値である為、ひび割れ指数は発生する温度応力よりも引張強度が大きいということになる。ただし、上記の基準を満足した場合であっても、ひび割れが発生する確率は 50% 程度である。(図-1 参照)

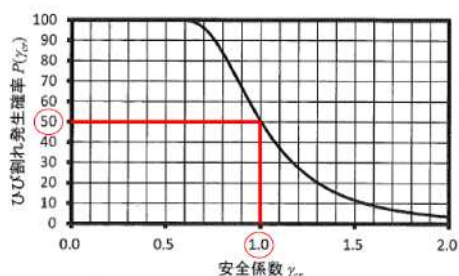


図-1 安全係数 γ_{cr} とひび割れ発生確率 (Co 示方書より)

表-1 一般的な配筋の構造物における標準的なひび割れ発生確率と安全係数 γ_{cr}

対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γ_{cr}
ひび割れを防止したい場合	5 (%)	1.85 以上
ひび割れの発生をできる限り制限したい場合	15 (%)	1.40 以上
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50 (%)	1.00 以上

※0.2 mm 以下のひび割れが発生する確率が 50% という意味合い

ひび割れ指数が小さいほど発生するひび割れが多く、その幅も大きくなる傾向にある。しかし、現状では構造物の引張強度を正確に予測することは困難であり、解析で求めた値にある程度の算定誤差があることは避けられない。また、工程、コスト、構造上の問題からひび割れ指数改善のための対策には限界がある。

当初設計（ひび割れ対策なし）の場合の解析結果を見ると、底版以外ひび割れ指数が 1.00 以下となり、0.2 mm以上のひび割れが発生する可能性が高い結果となった。

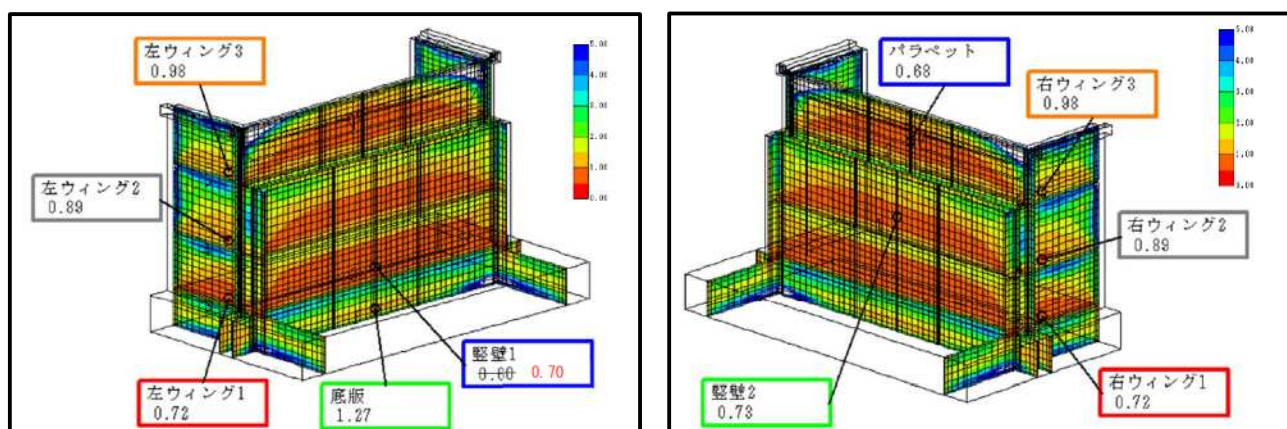


図-2 温度応力解析結果(当初計画) (ひび割れ抑制対策なし)

表-2.1 解析結果(当初計画) (ひび割れ抑制対策なし)

部位	最高温度(°C)		ひび割れ指数最小値	ひび割れ指数判定 (目標値: 1.00 以上)
	中心部	表面部	中心部	
底版	61.8	34.0	1.27	○
壁壁 1	58.9	31.9	0.70	×
壁壁 2	52.3	26.4	0.73	×
パラベット	25.9	20.8	0.68	×
左ウイング 1	41.3	30.0	0.72	×
左ウイング 2	34.0	24.0	0.89	×
左ウイング 3	33.3	23.5	0.98	×
右ウイング 1	41.3	30.0	0.72	×
右ウイング 2	34.0	24.0	0.89	×
右ウイング 3	33.3	23.5	0.98	×

表-2.2 最大ひび割れ幅の推定結果 (ひび割れ対策なし)

部位	ひび割れ指数	現況鉄筋比	最大ひび割れ幅 w	判定 w ≤ 0.2
壁壁 1	0.77	0.10 %	1.625 mm	×
壁壁 2	0.78		1.611 mm	×
左ウイング 1	0.75	0.45 %	0.269 mm	×
右ウイング 1	0.75		0.269 mm	×
左ウイング 2	0.92	0.70 %	0.112 mm	○
右ウイング 2	0.92		0.112 mm	○

解析の結果、躯体中心部におけるひび割れ指数は底版を除くすべての部位で目標指数 1.00 を下回った。指数の履歴より外部拘束の影響が見られ、幅の過大なひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。ひび割れ指数改善の為に何らかの対策が必要と考えられる。

3. ひび割れ抑制対策の検討

ひび割れ抑制対策として、工程、コスト、構造上及び品質確保の観点より、下記のとおり補強鉄筋による抑制方法及び誘発目地による抑制方法を検討した。

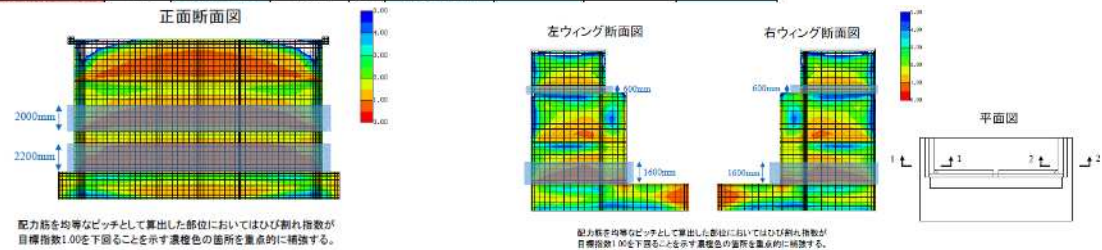
- ①補強鉄筋による抑制対策
- ②誘発目地による抑制対策
- ③補強鉄筋及び誘発目地による抑制対策

①補強鉄筋による抑制対策の検討

壁		配力筋を均等なピッチとして算出									
鉄筋種類	鉄筋径	公称断面積	鉄筋間隔	本数	鉄筋断面積	総鉄筋断面積	部材厚	補強後鉄筋比	ひび割れ指数最小値	最大ひび割れ幅	判定
配力筋 前面側	D16	198.6 mm ²	250mm	1本	794.4 mm ²	11988.0 mm ²	2000mm	0.60 %	0.67	0.183 mm	OK
配力筋 背面側	D19	286.5 mm ²	250mm	1本	1146.0 mm ²						
補強鉄筋 タイプA	D25	506.7 mm ²	250mm	4本	8107.2 mm ²						
タイプB 前面側	D16	198.6 mm ²	250mm	1本	794.4 mm ²						
タイプB 背面側	D19	286.5 mm ²	250mm	1本	1146.0 mm ²						

バラベツト		配力筋を均等なピッチとして算出									
鉄筋種類	鉄筋径	公称断面積	本数	鉄筋断面積	総鉄筋断面積	部材断面積	補強後鉄筋比	ひび割れ指数最小値	最大ひび割れ幅	判定	
配力筋 前面側	D16	198.6 mm ²	12本	2383 mm ²	8738 mm ²	縦 3080 横 500 1540000 mm ²	0.57 %	0.68	0.199 mm	OK	
配力筋 背面側	D16	198.6 mm ²	12本	2383 mm ²							
タイプB 前面側	D16	198.6 mm ²	10本	1986 mm ²							
タイプB 背面側	D16	198.6 mm ²	10本	1986 mm ²							

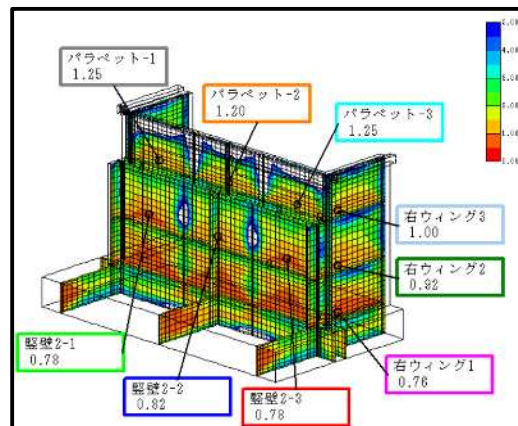
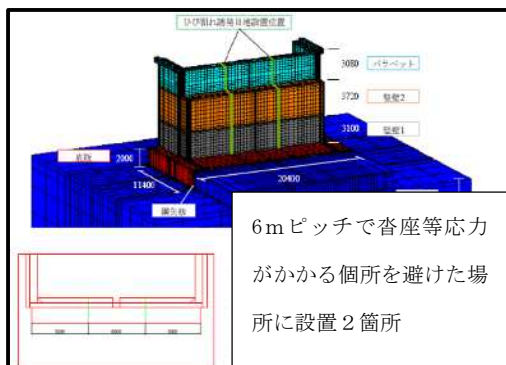
左右ウイング		配力筋を均等なピッチとして算出										
鉄筋種類	鉄筋径	公称断面積	鉄筋間隔	本数	鉄筋断面積	総鉄筋断面積	部材厚	補強後鉄筋比	ひび割れ指数最小値	最大ひび割れ幅	判定	
配力筋 外側	D22	387.1 mm ²	250mm	1本	1548.4 mm ²	4588.6 mm ²	800mm	0.57 %	1	0.72	0.189 mm	OK
配力筋 内側	D25	506.7 mm ²	250mm	1本	2026.8 mm ²				3	0.98	0.150 mm	OK
補強鉄筋 タイプA	D25	506.7 mm ²	500mm	1本	1013.4 mm ²							



補強鉄筋によるひび割れ抑制対策は、各部位へ補強鉄筋により鉄筋量を増加させることで引張強度を増加させひび割れ抑制としての効果がある事が証明された。

しかし、補強鉄筋の鉄筋量は6.4 t となり躯体の鉄筋量は、約22%増加することになる。非常に密な鉄筋配置となり、過密鉄筋と言わざる負えない状況となる。過密鉄筋となると、施工性の悪化、コンクリート充填の悪化等、施工性、品質確保に多大な影響を与えることとなる。

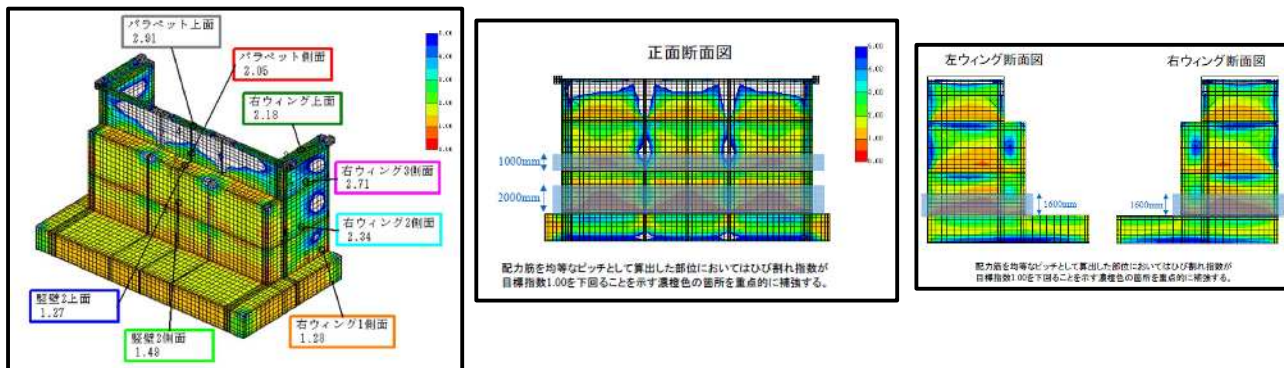
②誘発目地による抑制対策



温度ひび割れ対策として、壁-バラベツトの2箇所にひび割れ誘発目地を設置して解析を行った。

躯体中心部のひび割れ指数は、目地部以外の応力が軽減されたため改善の傾向が見られた。バラベツト及びウイング3においては目標指数を上回ることが確認された。しかし、そのほかの部位においては依然として目標値を下回っており、外部拘束の影響による幅の過大なひび割れが発生する可能性が高いことが解った。

③補強鉄筋及び誘発目地による抑制対策



壁		配力筋を均等なピッチとして算出									
鉄筋種類	鉄筋径	公称断面積	鉄筋間隔	本数	鉄筋断面積	総鉄筋断面積	部材厚	補強後鉄筋比	ひび割れ指数最小値	最大ひび割れ幅	判定
配力筋 前面側	D16	198.6 mm ²	250mm	1本	794.4 mm ²	11988.0 mm ²	2000mm	0.60 %	0.77	0.169 mm	OK
配力筋 背面側	D19	286.5 mm ²	250mm	1本	1146.0 mm ²						
補強鉄筋 タイプA	D25	506.7 mm ²	250mm	4本	8107.2 mm ²						
タイプB 前面側	D16	198.6 mm ²	250mm	1本	794.4 mm ²						
タイプB 背面側	D19	286.5 mm ²	250mm	1本	1146.0 mm ²						

②の解析でひび割れ指数が目標指数を下回った部位において、発生が予想されるひび割れ幅の推定を行った。その結果、許容値 0.2 mm を上回るひび割れが推定された。そこで、ひび割れ幅を抑制するために補強鉄筋による対策を検討した。補強鉄筋の配置により推定最大ひび割れ幅は 0.2 mm 以下まで抑制されることが示された。このため、本構造物ではひび割れ誘発目地および補強鉄筋を設置による対策を行うことが望ましいことが考えられる。これらの対策を講じることで、ひび割れが発生した場合であってもひび割れが発生した場合であってもひび割れが部材の性能低下の原因とならず、要求性能を満足すると方法と決定した。

4. ひび割れ抑制対策の結果

上記の検討結果より、誘発目地 2 箇所及び補強鉄筋の配置により抑制対策を行った。また、誘発目地は、道路橋示方書及びコンクリート示方書に準拠し、断面欠損 50% となるよう配置した。

通常箇所の引張応力を補強鉄筋にて補強し、誘発目地設置箇所を弱点としてひび割れを誘導することで、推定通りひび割れを誘発目地へ導くことが出来、健全でマシブなマスコンクリートを構築することが出来た。



写真-1 補強鉄筋配置状況



写真-2 誘発目地(鉄板設置)



写真-3 漏水防止ブチル樹脂設置

コンクリート構造物の長寿命化対策は、これからも施工管理技術者として重要な対策となっていくと考えられる。今後も、品質の良い社会のインフラを長く守るべく安心のある構造物を構築していくことを念頭に施工を行っていきたい。