

老朽水路トンネルの鋼製支保工による補強設計

日本工営（株） 正会員 ○角川 智哉
日本工営（株） 正会員 小谷 拓

1. はじめに

1960年代まで我が国の発電を牽引した水力発電であるが、現在では総発電電力量の8.0%（エネルギー白書2012）程度となっており、老朽化により管理すべき土木構造物となっている。

本稿では、導水路トンネルに設置されている既設支保工区間および既設内張管区間の既往資料を取りまとめ、現在のトンネル状況を再現できるよう外力の試算を行い、土地改良事業計画設計基準「水路トンネル」基準書設計書〔農林水産省 構造改善局〕を用いて構造解析を行った事例を報告する。

2. 構造解析方法

対象となる導水トンネルは図-1に示すとおり全長約5.0kmの覆工コンクリート構造で構成されており、過年度に⑤、⑪、⑫区間（青色）に鋼製支保工が設置され、⑥、⑦、⑩区間（灰色）に内張管が設置されている。

なお、地形・地質等の自然条件や、現地調査結果から新たに支保工を設置が必要であると判断した区間、①～④、⑧、⑨、⑬区間（赤色）についても検討を実施した。

今回、解析方法の選定にあたり、フレーム解析やFEM解析では、専用ソフトを使用するのが一般的であるが、解析内容についての把握が難しいことから、手計算でも解析可能である土地改良事業計画設計基準「水路トンネル」基準書設計書〔農林水産省 構造改善局〕を採用した。採用するにあたり、既設支保工区間と既設内張管区間の既往資料の構造解析結果と比較を行い、既往資料の妥当性について確認を行った。また、支保工設置間隔に対しては、安全率（1.0）が許容範囲内に収まる事を条件として、推定する外力を試算した。新設支保工区間については、既設支保工区間および既設内張管区間で試算した推定外力を元に対象地点の外力を推定し、支保工間隔を試算した。

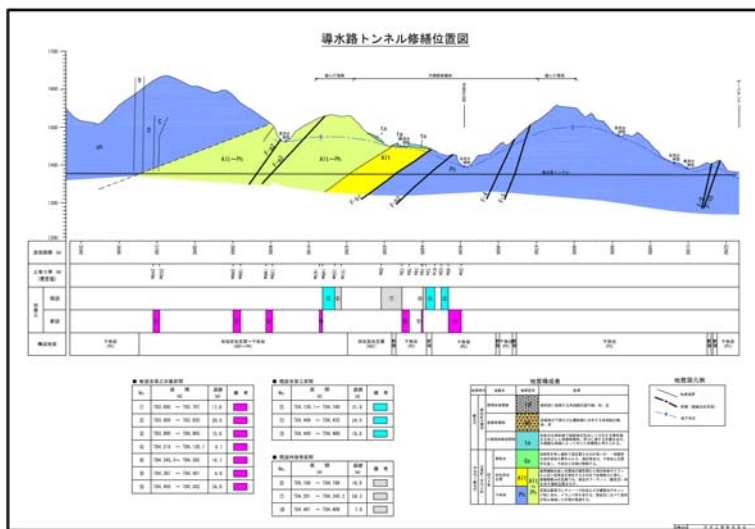


図-1 調査範囲

3. 構造解析結果

3. 1. 既設支保工区間の解析結果

既設支保区間の解析を実施した結果、全区間で鉄筋コンクリート構造とした場合と無筋コンクリート構造とした場合で、想定した外力に対して構造の安全性を確保できないと判断できた。また、既設支保工設置間隔を基に、⑤区間の推定する外力は土圧高さ8.0m程度、⑪および⑫区間の推定する土圧高さが3.0m程度であると判断できた。⑤区間については崩壊に緊急工事を実施しており、構造の経済的な妥当性を検証する時間的余裕もなく施工された可能性がある、⑪区間および⑫区間では、既往資料では2.0m程度の外力を推定していたため、今回の解析結果と概ね同様であると判断できた。

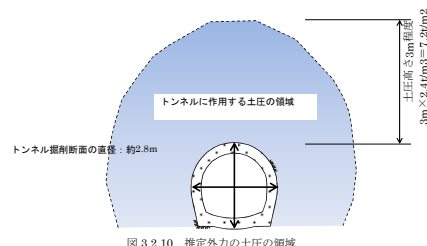


図 3.2.10 推定外力の土圧の領域

図-2 ⑪区間の推定外力の土圧の領域

キーワード 導水路トンネル、調査・診断、構造解析、鋼製支保工、補強設計

連絡先 〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵 1-2-12 日本工営株式会社福岡支店技術第二部 TEL 092-475-4330

3. 2. 既設内張管区間の解析結果

既設内張管区間についても既設支保工区間と同様に解析を実施した結果、鉄筋コンクリート構造とした場合と無筋コンクリート構造とした場合で、想定した外力に対して構造の安全性を確保できないと判断でき、推定する外力は4.5m程度とした場合に現在のトンネル状況を再現できたと判断した。

3. 3. 新設支保工区間の解析結果

既設支保工区間および既設内張管区間の推定する外力値を基に、新設支保工区間の推定する外力を試算した結果、推定する外力は4.5m程度であり、支保工間隔について評価した結果を表-1に示す。また、図-4に示すように新設支保工設置区間を大きく3つのパターンに分けて評価をした結果を表-2に示す。

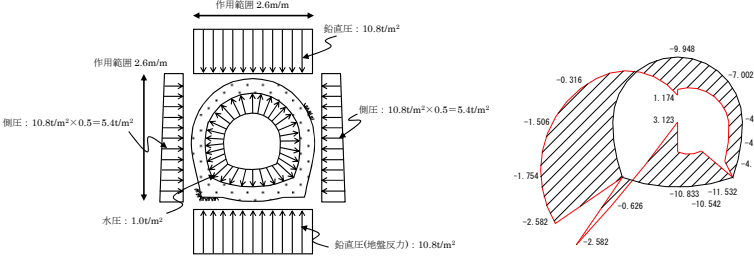


図-3 ⑧区間の荷重図とモーメント図

表-1 推定外力と支保工間隔の試算結果

No.	区間 (m)	距離 (m)	支保工間隔 (m)	安全率			
				推定外力3.0m	推定外力3.5m	推定外力4.0m	推定外力4.5m
①	TD3,690～TD3,707	17	0.9m	1.76	1.51	1.32	1.18
			1.0m	1.59	1.36	1.19	1.06
			1.2m	1.32	1.13	0.99	0.88
			1.5m	1.06	0.91	0.79	0.71
			1.8m	0.88	0.76	0.66	0.59
②	TD3,900～TD3,920	20	0.9m	1.60	1.37	1.20	1.07
			1.0m	1.44	1.23	1.08	0.96
			1.2m	1.20	1.03	0.90	0.80
			1.5m	0.96	0.82	0.72	0.64
			1.8m	0.80	0.69	0.60	0.53
③	TD3,990～TD4,005	15	0.9m	1.60	1.37	1.20	1.06
			1.0m	1.44	1.23	1.08	0.96
			1.2m	1.20	1.03	0.90	0.80
			1.5m	0.96	0.82	0.72	0.64
			1.8m	0.80	0.69	0.60	0.53
④	TD4,128～TD4,136.1	8.1	0.9m	1.67	1.43	1.25	1.11
			1.0m	1.50	1.29	1.13	1.00
			1.2m	1.25	1.07	0.94	0.83
			1.5m	1.00	0.86	0.75	0.67
			1.8m	0.83	0.71	0.63	0.56
⑤	TD4,345.3～TD4,385	19.7	0.9m	1.76	1.51	1.32	1.17
			1.0m	1.58	1.36	1.19	1.05
			1.2m	1.32	1.13	0.99	0.88
			1.5m	1.05	0.90	0.79	0.70
			1.8m	0.88	0.75	0.66	0.59
⑥	TD4,397～TD4,401	4	0.9m	1.64	1.41	1.23	1.10
			1.0m	1.48	1.27	1.11	0.99
			1.2m	1.23	1.06	0.93	0.82
			1.5m	0.99	0.85	0.74	0.66
			1.8m	0.82	0.70	0.62	0.55
⑦	TD4,468～TD4,502	34	0.9m	1.63	1.40	1.22	1.09
			1.0m	1.47	1.26	1.10	0.98
			1.2m	1.22	1.05	0.92	0.82
			1.5m	0.98	0.84	0.73	0.65
			1.8m	0.82	0.70	0.61	0.54

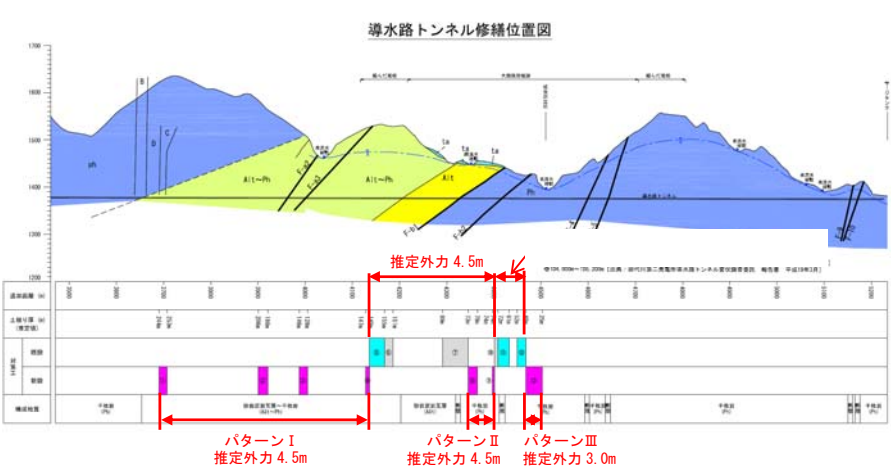


図-4 新設支保工区間の状況図

表-2 新設支保工区間の解析結果

	支保工未設置区間	区 間	地質	推定外力	試算結果による支保工間隔
パターンⅠ	①、②、③、④	TD3,690m～TD4,136.1m (既設支保工⑤区間以前)	Alt～Ph	4.5m (4.5m)	0.9m～1.0m (0.4m～0.5m)
パターンⅡ	⑧、⑨	TD4,291m～TD4,408m (既設内張管⑦～⑩区間)	Ph	4.5m (4.5m)	0.9m～1.0m
パターンⅢ	⑬	TD4,468m～TD4,502m (既設支保工⑫区間以降)	Ph	3.0m (3.0m)	0.9m～1.2m (0.9m～1.2m)

4. 今後の課題

本検討では、手計算でも解析可能な土地改良事業計画設計基準「水路トンネル」基準書 設計書〔農林水産省 構造改善局〕で解析を実施した。今後、施設の老朽化に伴いこのような事例も増えると思われるので、土質条件や地下水条件、導水路トンネルの通水性能の減少にも配慮しながら今回実施した手法を他の事例にも適用していきたい。