

対策必要土における封じ込め遮水工法の施工管理等について

(株)フジタ 特別会員 ○倉増 敬

1. はじめに

第二東名高速道路額田インターチェンジ工事は延長約 2.8 km、切土量 2,400,000 m³、盛土量 1,000,000 m³として中日本高速道路株式会社名古屋支社より発注された。当工事は愛知県の西三河地区に位置しており、その周辺では基準を超えた重金属等や黄鉄鉱を含有している変成岩や土壌（以下、対策必要土）が分布している。対策必要土の処理方法として最終処分場への運搬があるが、処分場への距離や処理能力が工程に大きく影響を及ぼす可能性がある。それに対し、当工事で採用した封じ込め遮水工法はそういった制約を軽減することができる。遮水材料としては遮水シートとベントナイト混合土を用いて、盛土材の上部と下部それぞれを保護することで流出を防止する。その一方で、施工完了後は、工事区域近傍の地下水並びに表面水の水質調査を実施し、工法の有効性を検証した。

本稿は、対策必要土に対し適用した事例の少ない封じ込め遮水工法の施工方法や構造などを整理し、その記録を残すものである。

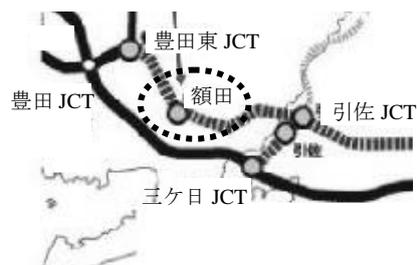
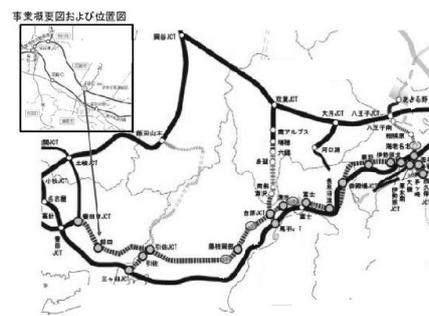
2. 工事概要

本工事区間は、新設される新東名高速道路の内、愛知県岡崎市生平町から榎山町までである。現場位置を図-1 に示す。当工事では高速道路本線区間とインターチェンジ部の土工基面の整形及びそれらに付帯する構造物を構築する。工事当初は高速道路の構築に支障となる河川の付替や、市道の切廻し、橋台・橋脚・函渠・堰堤工といった構造物の施工を行った。その後、主体の工事である土工事に着手した。

発注当初の諸元を下記に示す。

工事名称：第二東名高速道路 額田インターチェンジ工事
発注者：中日本高速道路株式会社名古屋支社
工事場所：愛知県岡崎市生平町から榎山町
工期：平成 21 年 10 月 27 日 ～ 平成 26 年 4 月 3 日
工事延長：2,758 m (内、353 m が橋梁)
施工内容：切土量 2,400,000 m³、盛土量 1,000,000 m³

橋台 4 基、橋脚 7 基
付替水路、堰堤工、沈砂池他
深礎杭：L=56 m(φ2.5～5.5 m)
場所打杭：L=60 m(φ1.5 m) など



(現場位置詳細)

図-1 現場位置図

工事着工後に、現場周辺において想定以上の対策必要土が発見した。処理の方法として、場外への搬出などが検討されたが、現場から処理場までの距離が 24km と遠く離れているため、当工事では、設計変更により対策土の封じ込め遮水工法が追加となった。

3. 対策必要土封じ込め遮水工法の施工管理

3.1 適用

対策必要土は地下水や土中の浸入水に対して重金属等が、基準を超えて溶出する可能性がある。また、黄鉄鉱等を含んだ酸性土は、水や酸素と反応することにより酸化し、強酸性水として流動する。特に、重金属等は土壤汚染対策法の対象にもなっている。それら対策必要土の対策方法として封じ込め遮水工法がある。

これは遮水シートや粘性土層の構築により、対策必要土と水との接触やその溶出水の流出を防ぐものである。当現場の遮水工法の諸元を表-1に示す。封じ込める対策必要土は当現場及びその近接工事から発生したものである。

表-1 諸元（対策必要土封じ込め遮水工法）

項目	単位	数量	備考
対策必要土	m ³	115,000	
ベントナイト混合土	m ³	8,100	現場製造
遮水・保護シート	m ²	17,000	カバーシステム
遮水・保護シート	m ²	17,000	底部ライナー
固定コンクリート	m	687	保護シート固定
保護砂	m ³	21,000	

3.2 構造

対策必要土封じ込め遮水工の構造概要を図-2に示す。構造は重金属等を含む対策必要土の下部に設置する底部ライナーと上部に設置させるカバーシステムから構成され、対策必要土を包み込むような形になる。

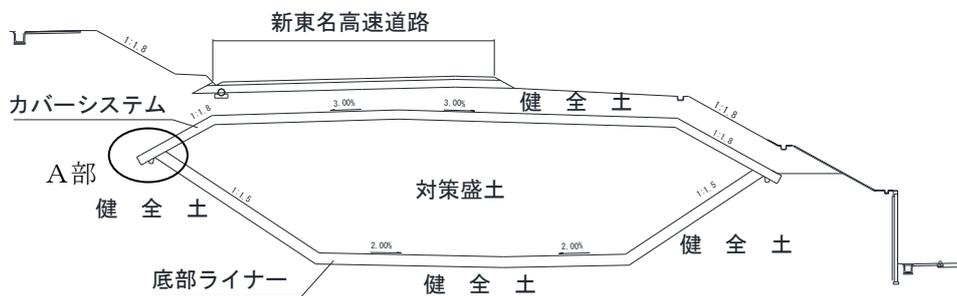


図-2 対策必要土封じ込め遮水工概要図

底部ライナーは、粘性土層であるベントナイト混合土、遮水シート（1重）、保護シート（2重）、保護層（敷砂1層）からなる。カバーシステムは、遮水シート（2重）、保護シート（3重）、保護層（敷砂2層）からなる。図-3に図-2のA部に当たる箇所の底部ライナーとカバーシステムの詳細を示す。なお、遮水シートはポリエチレンシート、保護シートは不織布である。

底部ライナーの法面で法長が最も長いところは22mである。遮水シートの固定にはトンバック等の重量物を用いることもあるが、当施工では法長が長いので、法肩にコンクリートを打

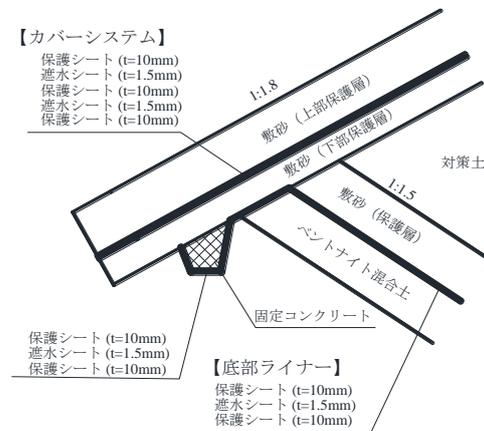


図-3 遮水工詳細（A部）

設することでシート固定した（固定コンクリート）。この目的はシートがずり落ちることを回避させシートを均一にたるむことなく設置することである。

遮水シートの破損防止のため、保護層となる敷砂付近の盛土材の粒径に留意する必要がある。また、保護層の敷砂は盛土に対して 2~3 m 程度先行して施工することが望ましい。これは、保護層の敷砂を施工中、降雨などの影響により保護層の敷砂が崩れてシートを引っ張ることでシートのずれや損傷につながるためである。

3.3 ベントナイト混合土の設計

底部ライナーの粘性土層としてベントナイト混合土が用いられる。ベントナイト混合土に使用した母材は現場発生土、添加材は購入材である。現場発生土は、硬岩を掘削した際に土砂化したものであるため、巨礫（礫径 256mm 以上）を多く含んでいた。ベントナイト混合土の母材に巨礫が多い場合、土中間の間隙が大きくなり透水係数が大きくなる傾向がある。そこで、現場発生土は篩分け(20 mm)をしてから母材として使用することとした。母材の室内土質試験結果を表-2 に示す。

封じ込め遮水工の粘性土層に用いられるベントナイト混合土の透水係数は 1×10^{-8} m/s 以下が求められる。この値を基にして配合設計を行い、室内配合試験及び現場での試験施工により、目標の透水係数が確保できているかを確認する。まず、母材の乾燥質量に対し 5%、10%、15%、20%のベントナイトを添加した 4 種類の混合土から室内透水試験を実施した。結果をそれぞれ図-4 と図-5 に示す。ベントナイト混合土は通常の粘土と同様に、透水係数と乾燥密度に相関関係が見られる。母材が現場発生土であり物性のばらつきが予想されたので、目標とする品質管理透水係数を設計の値より 20%安全側にし、配合設計を行った。

$$k_q = \frac{k}{1.2} = \frac{1.0 \times 10^{-8}}{1.2} = 8.3 \times 10^{-9} \dots (1)$$

ここで、 k_q : 品質管理透水係数(m/s)、 k : 設計透水係数(m/s)である。

以上の結果より、ベントナイト添加率を 11.2%とし、その時の添加量から母材質量当たりの管理値を決定した。

表-2 母材（ベントナイト混合）の室内試験結果

項目	単位	試験結果	
土粒子密度	g/cm ³	2.688	
土の自然含水比	%	5.0	
粒度	最大粒径・Dmax	mm	37.4
	石分(75mm以上)	%	0.0
	礫分(2~75mm)	%	46.5
	砂分(0.075~2mm)	%	40.9
	シルト分(0.005~0.075mm)	%	11.4
	粘土分(0.005mm未満)	%	1.2
コンシステンシー	均等係数 U _c	-	74.2
	液性限界 WL	%	NP
	塑性限界 WP	%	NP
	塑性指数 IP	%	NP
分類	地盤材料の分類名	-	細粒分まじり砂質礫
	分類記号	-	GS-F

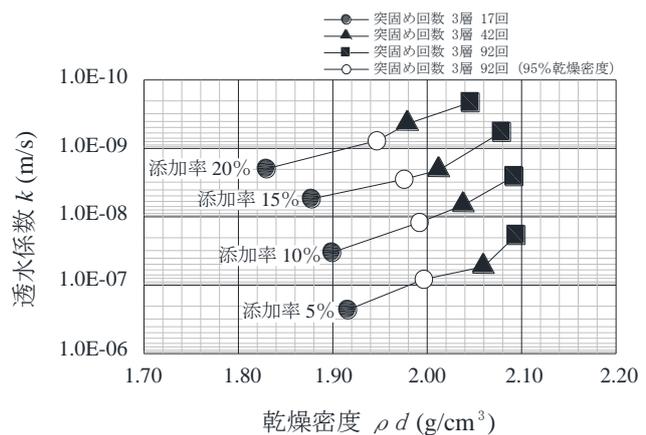


図-4 透水係数と乾燥密度

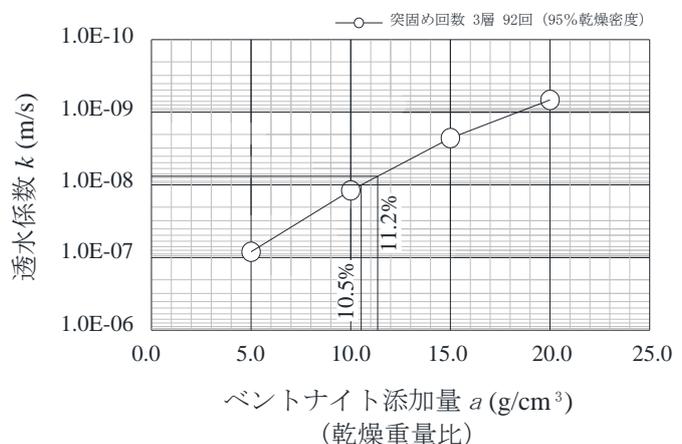


図-5 透水係数と添加率

3.4 ベントナイト混合土の品質管理

ベントナイト混合土製造の日常管理試験として、ファンネル粘度試験を行った。ファンネル粘度試験とは、現場で製造した試料のファンネル粘性度を試験室で測定することにより、試料のベントナイト添加率を測定するものである。日常管理試験を行う前に、ファンネル粘性試験検量線より管理基準値を決定した。結果を図-6に示す。設計添加率の流下速度は22.8秒でありこれを管理基準値と設定した。そして、日常管理試験では製造した混合土にベントナイトが適正に混合されているか否かを確認した。また、転圧後の添加率も現場密度測定に用いるRI計測を用いて確認することとした。まず、RI計器のインプットデータとなる最大乾燥密度を設計の添加率における乾燥密度とする。つぎに、RI計測における締固め度の管理基準値を100%以上とすることで、その値を超えた時、適正にベントナイトが添加されていることと締固めが適正になされていると判断することにした。

配合設計で得られた透水係数が実施工でも得られているかどうかを試験によって確認した。透水係数算定のために行った試験は、ブロックサンプリングにより採取した試料から作製した供試体透水試験と、マリ奥特サイホンを用いた現場透水試験の2種類である。ブロックサンプリング試験は、現場で作製した供試体を室内試験室にてモールドに入れ現場透水係数を確認した。マリ奥特サイホンを用いた現場透水試験は、現地で試験孔を掘削して、孔内を定水位に保つことで水圧を一定にし、給水量と時間を算定することで現場透水係数を算出した。試験概要を図-7に示す。マリ奥特サイホンの試験では、試験孔の掘削時に、礫（ $D_{max} = 20mm$ ）の影響による孔壁の凹凸が生じ、試験値に乱れが見られた。そのため、透水係数の管理はブロックサンプリングによる室内透水試験により管理する事とした。

ブロックサンプル試料採取のための試験ヤードを3つのブロックに分けた。そして、それぞれのブロックは10tローラーによる転圧回数を変えることとする。転圧回数はそれぞれ、1ブロックは6回、2ブロックは8回、3ブロックは10回とした。また、RI測定の前現場密度測定を参考としブロック毎に、現場密度の最大値、中間値、最小値を示し

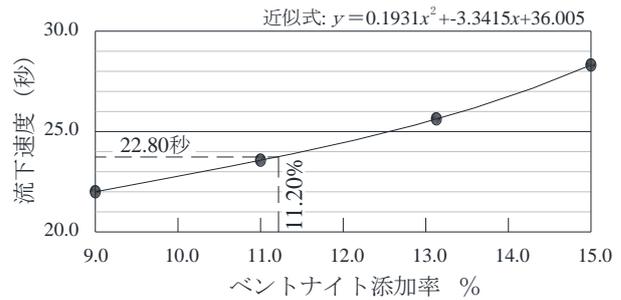


図-6 ファンネル粘性試験検量線

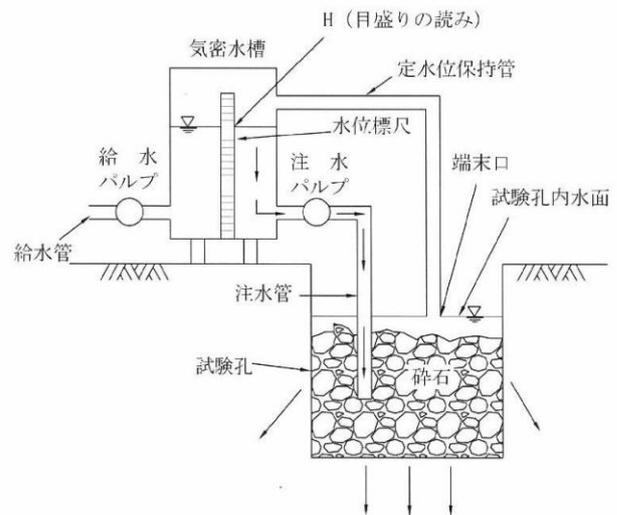


図-7 マリ奥特サイホンを用いた現場透水試験

表-3 ブロック毎の現場透水係数

ブロック名	ブロックサンプリング・室内透水係数 (m/s)			
	密度最大値	密度中間値	密度最小値	平均
1ブロック	2.2×10^{-9}	2.4×10^{-9}	3.3×10^{-9}	2.6×10^{-9}
2ブロック	1.4×10^{-9}	1.9×10^{-9}	5.2×10^{-9}	2.8×10^{-9}
3ブロック	1.1×10^{-9}	2.5×10^{-9}	4.6×10^{-9}	2.7×10^{-9}

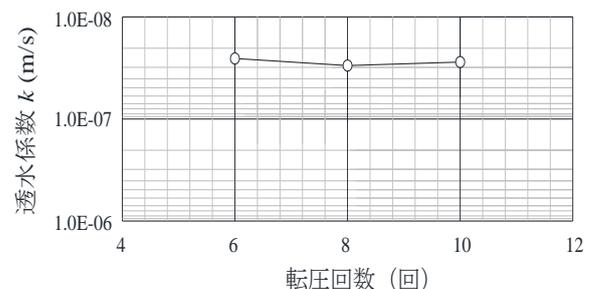


図-8 転圧回数 - 透水係数の関係

た箇所計 9 箇所にて試料を採取した。表-3、図-8 に転圧回数と透水係数の関係を示す。結果はいずれの値も基準値を満たし、転圧回数による大きなばらつきは見られなかった。

転圧回数と締固め度の関係を図-9 に示す。6 回転圧で締固め度が 100% を超え、その後 6 ~ 10 回にかけては収束に向かってはいるが上昇傾向にあることが分かった。これらのことから、実施工時の転圧回数を 10 回とした。

また、施工における対策必要土の品質管理は、通常の盛土と同様に RI 計測器により現場密度を測定した。

3.5 遮水シートの品質管理

遮水・保護シート施工状況全景を写真-1 に示す。この遮水シートは幅 6.3 m、延長 140 m のロール状になっており現場にて溶着を行う。この溶着には溶着機を用いるが、本施工前に溶着機の選定及びシートの品質、施工方法が適切であるかの確認を行った。この試験に用いた方法はバイス剥離試験である。この試験は、まず試験サンプルを作製し、この試験サンプルを強制的にハンドバイスによって剥離させ、その剥離後の形状によって試験の可否を判定する方法である。また、施工毎に加圧試験を行う。これは接合部を加圧し、空気圧を測定することで接合部の品質を確認する方法である。試験状況を写真-2 に示す。接合部の出来形は最終的に展開図にまとめ、品質管理報告と共に発注者へ提出した。

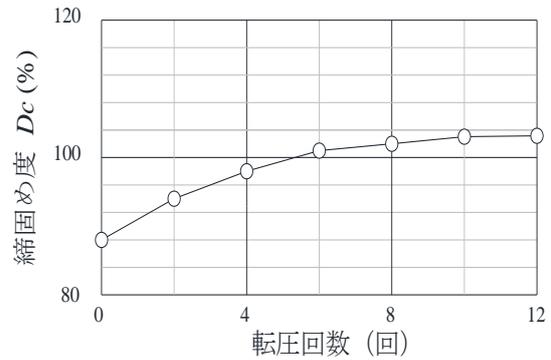


図-9 転圧回数- 締固め度の関係



写真-1 シート施工状況 (カバーシステム)

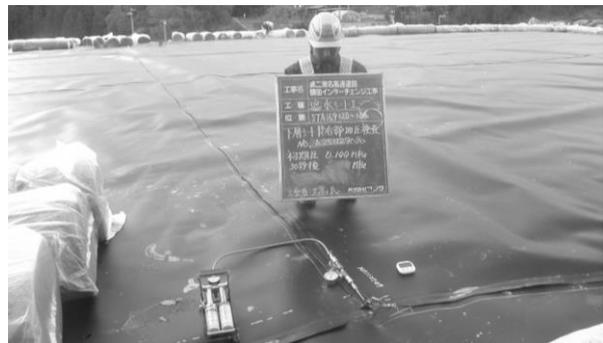


写真-2 加圧試験状況

4. 周辺環境へ影響及び計測

4.1 水質観測井戸

対策盛土の平面形状を図-10 に示す。この盛土による施工中及び施工完了後の地下水への影響を調べるため、対策必要土封じ込め遮土工近傍に観測井戸を設けて水質の観測を行った。

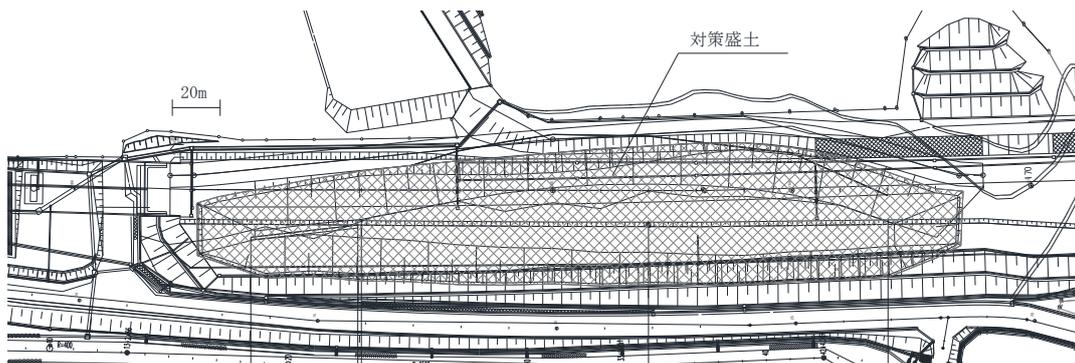


図-10 対策盛土の平面形状

水質監視の項目及び判定基準値を表-4に示す。基本項目は日常管理として、環境項目と重金属等は定期管理として1回/月で試験を行うこととした。環境項目は生活環境の保全に関する環境基準の基本項目である。また、重金属類等の項目は、発注者が行った新東名高速道路での事前調査において、土壤環境基準不適合が確認された鉛・カドミウム・砒素・セレンとした。また、これらに加え、強酸性水が発生した場合、溶出しやすくなるマンガ、アルミニウムについても監視項目とした。監視は平成27年3月現在でも継続して行っている。

表-4 水質監視項目および基準値

モニタリング項目		判定基準値(管理基準値)
基本項目	濁度 (ホルマジン濁度)	30度以下
	pH	5.8 以上 8.6 以下
	電気伝導率(EC)	30 mS/m以下
環境項目	浮遊物質量(SS)	1×10 ² mg/m ³ 以下
	化学的酸素要求量(COD)	1×10 ² mg/m ³ 以下
	生物化学的酸素要求量(BOD)	1×10 ² mg/m ³ 以下
	n-ヘキサン抽出物質(鉱油類)	2×10 ³ mg/m ³ 以下
重金属	砒素(As)	1×10 ⁵ mg/m ³ 以下
	鉛(Pb)	1×10 ⁵ mg/m ³ 以下
	カドミウム(Cd)	3×10 ⁶ mg/m ³ 以下
	マンガ(Mn)	1×10 ³ mg/m ³ 以下
	アルミニウム(Al)	1×10 ³ mg/m ³ 以下
	セレン(Se)	1×10 ⁵ mg/m ³ 以下

4.2 吐口工からの流出水の計測

施工中の封じ込め遮水工内の降水を処理するため、堅坑を設けた。この堅坑の水は最終的に地下排水管を通じて吐口工から排水される。この排水された水は、上部のカバーシステムを設置する前に対策必要土に浸入した水であるため、汚染水となっている可能性があったので、この水を処理する汚染水処理プラントを設けた。このプラントは排水のpH調整を行うことで強酸性水及び砒素を処理することができる。

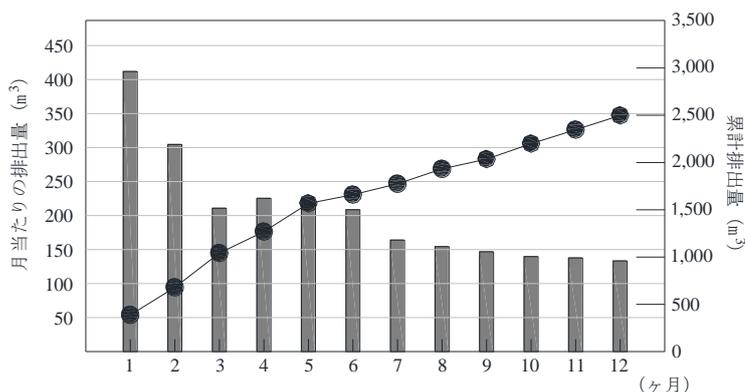


図-11 吐口工からの排水量推移
(カバーシステム完了後)

図-11 に吐口工からの排水量の推移を示す。カバーシステムが完了して1年4

ヶ月経った平成27年3月現在でも吐口からの排水は確認されている。これは、施工中の降水を保護シートや保護層が保持していたことと、その後の盛土に起因する圧密により、排水が続いているものと思われる。ただし、排水量は減少傾向にあり、カバーシステムが正常に機能していると考えられる。

5. おわりに

対策必要土の封じ込め遮水工法は場外搬出と比べ、工程短縮および労務削減につながるが、工事周辺の環境に影響を及ぼす可能性もある。そのため、適切な試験や検査を基に品質管理を行い、周辺環境に対する変化を適宜監視し、配慮をする必要がある。なお、施工及び、論文の作成にご指導を賜った発注者の中日本高速道路株式会社名古屋支社をはじめ、本社、支店、作業所所員、協力会社の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社 名古屋支社 豊田工事事務所(2011)：新東名高速道路 豊田工事事務所 土工設計・施工マニュアル 黄鉄鉱対策編。