

第二阪和国道の盛土工に関する指針について

由井 大二朗¹

¹ 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 道路管理第二課 (〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀丁 16 番)

本報は、供用直後の高盛土（盛土高さH≒21m）で発生した沈下現象について、そのメカニズムを解明し、今後の設計・施工への提言を行うものである。沈下のメカニズムは、最適含水比よりも乾燥側で、飽和度が低い状態で締固められた盛土に、地表水等が進入したことで発生した水浸沈下であることがわかった¹⁾。そこで、同じ材料で施工が計画される延伸区間の設計・施工への追加的指針を策定した。なお、盛土の施工管理方法の設定にあたっては、試験盛土を行い水浸沈下を再現してメカニズムの検証を行う共に、沈下しない管理手法を模索した。

キーワード 高盛土、水浸沈下、試験盛土、排水対策、締固め管理

1. はじめに

第二阪和国道は大阪と和歌山を結ぶ幹線道路で、交通混雑の解消、沿道環境の改善、国道 26 号の事前通行規制区間の解消、地域連携の強化を目指して整備が進められており、平成 23 年 3 月 26 日に淡輪ランプまでが暫定供用された。（図-1.1 参照）

沈下が発生したのは同 4 月 25 日、淡輪ランプの高盛土部である。図-1.2 に淡輪ランプの詳細図を示す。現状は 2 車線暫定形であるが、盛土・切土は 4 車線完成形で構築されている。また、延伸される本線部分など供用中の車線以外に空地が多く、空地や暫定のり面は裸地の状態であった。



図-1.1 第二阪和国道ルート³⁾

2. 盛土の概要

(1) 地形・地質概要

淡輪ランプは和泉山脈の北麓の標高 50m 前後の丘陵地が分布する地域に位置し、丘陵地には幾筋もの谷が発達している。そのためランプの盛土は谷出口を閉塞するように横断している。なお、当該地域には、明瞭なリアメント地すべり地形は見られない。

基盤の地質は和泉層群で、砂岩優勢の砂泥互層からなる。和泉層群の泥岩層は乾湿の繰り返しによって土砂化しやすい。また、盛土材料としては圧縮ひずみが多い材料とされている²⁾。

(2) 盛土形状

盛土形状を図-2.3 に示す。最大盛土高さは約 22 m、のり面勾配は 1 : 1.8、小段幅 1.5m で、谷側のり裾に補強土壁を配している。また、盛土天端部の路面下には路床改良及び、路体改良、谷側のり面はジオテキスタイルで補強されている。

(3) 盛土材料

盛土材料は、周辺で発生した切土材料で粒度分布の良い礫質土である。最大乾燥密度は 2.056g/cm³、最適含水比は 10.1% である。（図-3.1、図-3.2 参照）なお、スレーキング率は 14% で盛土材料としては問題のない値である⁴⁾。

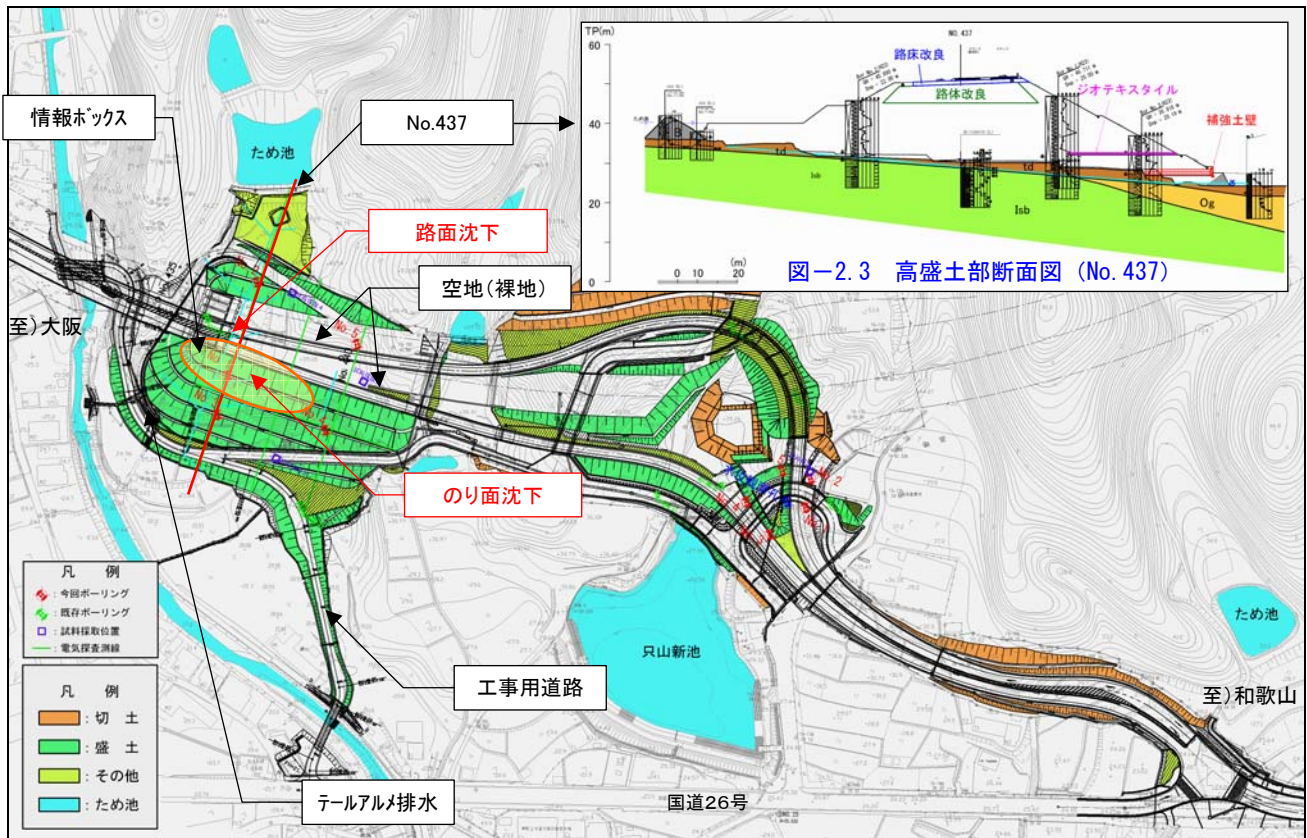


図-2.2 淡輪ランプ平面図

(4) 盛土施工方法

基礎地盤は、谷沿いに分布していた崖錐性堆積物の内、軟弱な表層部分は撤去している。盛土の施工はRI計器を用いた締め管理⁵⁾がなされ、管理密度(Dc \geq 90%)は締め試験結果にWalker-Holtzの礫補正⁶⁾を適用し設定している。

盛土期間は平成22年10月から平成23年2月間の渇水期に行われ、期間中目立った降雨はない。

(5) 沈下の状況

図-2.2に沈下箇所を示す。沈下が確認されたのは2箇所、先にのり面側で、次いで路面(淡輪高架橋A2橋台の踏掛板終端部付近)で発生した。

最大沈下量はのり面で約30cm(推定)、路面で約6cmである。また、のり面の沈下量は、のり肩の橋台側ほど大きい。またその範囲は、2段目の小段までの縦断延長40m程度である。

のり面側は4/23の38mmの降雨直後に、路面部は5/30の台風2号(累積降雨量203mm)直後に発生しており、共に5/30以降は沈下の拡大は確認されていない。

当時の空地は裸地で、雨水が浸透し易い状況であった。また、台風2号時には、ため池の水が盛土山側の平地に溢れ出し盛土内に浸透した。また、盛土下方のり面からの湧水や、のり裾のテールアルメ排



写真-2.1 左上：路面の状況、左下：情報ボックスの沈下、右：テールアルメの排水(5/30)

水口から排水が確認されていることなどから、盛土内の地下水位が上昇していたことが想像できる。

3. 調査結果

(1) 原位置試験・変位観測結果

ボーリング、貫入試験、物理探査を行い盛土の内部構造を確認した。その結果、盛土はこぶし大の礫を多く混入するシルト混じり砂礫であり、礫の多い部

分は $N \geq 20$ ，少ない部分は $N \leq 10$ とばらつくことがわかった．また，盛土内部に弱部（締固め不良箇所）の存在は確認できなかった．また，ボーリング孔を利用して盛土内部の地中変位観測を実施した結果，すべりを示すような地中変位は確認されなかった．

(2) 室内試験結果

図-3.1, 図-3.2, 図-3.3, 図-3.4に室内土質試験の結果を示す．ここで，当初材料とは盛土施工時の材料試験の結果であり，今回材料とは今回改めて同じ場所で採取した材料である．

室内試験結果を以下にまとめる．

a) スレーキング特性

スレーキング率は14%であり，盛土材料としては特に問題はない⁴⁾．

b) せん断特性

一面せん断試験結果より，飽和強度と不飽和強度の差が大きいことがわかった．(図-3.3 参照)このような材料は，不飽和状態→飽和（水浸）状態になるとせん断抵抗力が減少しすべりを生じやすい．

c) 水浸沈下特性

水浸圧密試験⁷⁾の結果，締固め度90%でも水浸沈下が発生する材料であることがわかった．(図-3.4 参照)水浸圧密試験に供した試料は，今回材料を2mm以下のせん頭粒土に調整したものである．

d) 施工含水比

当該盛土は，最適含水比よりも1~5%程度乾燥側で施工されていることがわかっていて，今回材料に対しても3~8%程度乾燥側となることがわかった．(図-3.2 参照)このように飽和度の低い盛土は吸水し易い．

e) 粒度分布と締固め特性

細粒分が増加すると締固め曲線が右に下がることから，最大乾燥密度は小さくなり，最適含水比は大きくなる特性がある．(図-3.1, 図-3.4 参照)

4. 沈下のメカニズム

前述した結果から，沈下のメカニズムを以下のように推定した．

a) 背景

渇水期の施工であったこと，施工含水比が最適含水比よりも乾燥側であったことから，飽和度が低く，空気間隙率が大きな盛土となっていた．

最適含水比 $w_{opt} = 12.1\%$

施工含水比 $w_f = 5 \sim 10\%$

空気間隙率 $V_a = 10 \sim 19\% : D_c = 90\%$ で試算

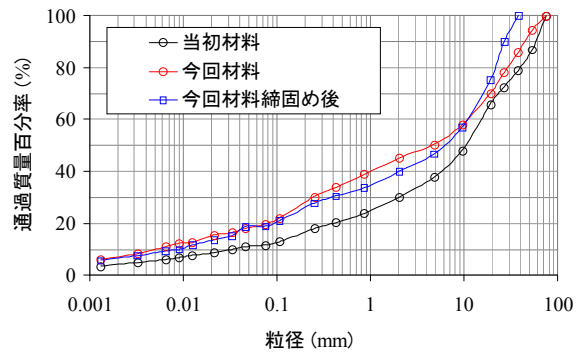


図-3.1 粒度試験結果

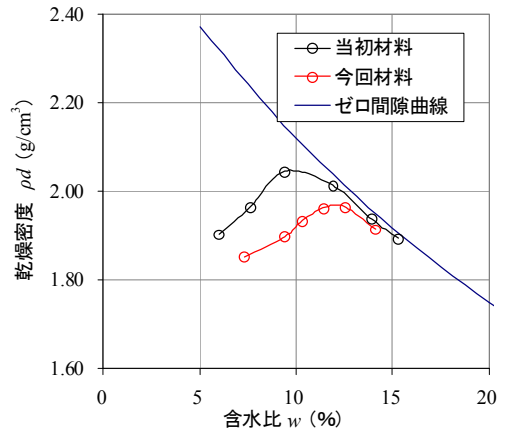


図-3.2 締固め試験結果

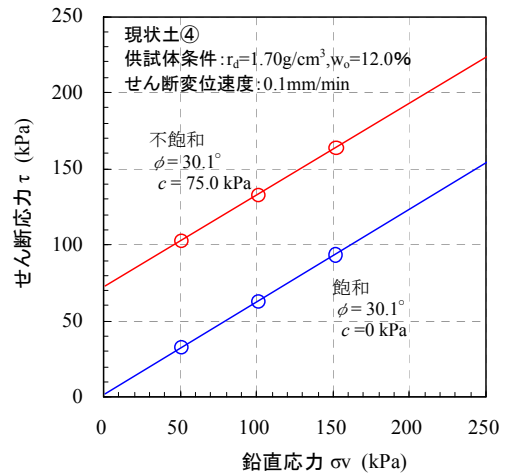


図-3.3 一面せん断試験結果（不飽和・飽和）

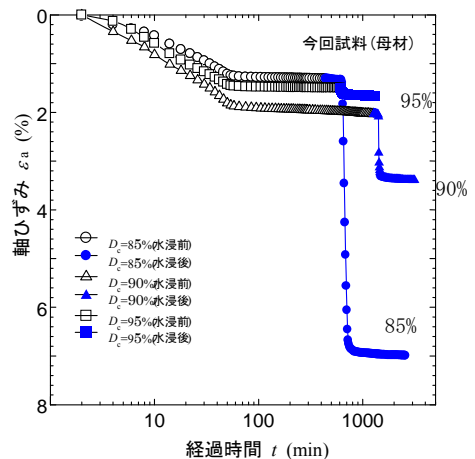


図-3.4 水深圧密試験結果

b) メカニズム

①盛土完成当初は2期線用地や暫定盛土天端に裸地が多くあった。また、のり面の植生も発育しておらず、降雨や地表水は盛土内部に容易に浸透することができた。

②そこに、台風の豪雨でため池をあふれ出した水が盛土内に浸透し盛土内部の地下水位を上昇させた。

③その結果、盛土表面付近や基礎地盤付近で飽和度が上昇し、土粒子間のサクシオンが消失、土の骨格構造が崩壊することで沈下に発展した。(図-4.1 参照)



図-4.1 水浸によるサクシオン消失のイメージ

表-4.1 一般部の盛土条件 (まき出し厚さは全て 30cm)

ゾーン	施工締固め密度	施工含水比
1	最大乾燥密度×90%	自然含水比
2	最大乾燥密度×95%	自然含水比
3	最大乾燥密度×90%	自然含水比+加水

5. 試験盛土

(1) 試験盛土の目的

試験盛土は一般部と埋戻し部(裏込めや、構造物周辺の盛土)を想定し、以下の目的で実施した。

a) 一般部

- ①水浸試験結果(室内)の現地での検証。
- ②加水方法の試行とその効果の確認。
- ③締固め度と空気間隙率の関係および、それらと水浸沈下量の関係を確認する。

b) 埋戻し部

- ①Dc=95%の場合の施工性確認。
- ②まき出し厚さと施工含水比を変化させた場合の、水浸沈下量の確認。

表-4.2 埋戻し部の試験盛土条件

ゾーン	まき出し厚さ	施工含水比
1	20cm	自然含水比
2	30cm	自然含水比
3	30cm	自然含水比+加水



写真-4.1 散水試験状況と水浸状況

(2) 盛土の施工条件

表-4.1 と表-4.2 にそれぞれの盛土条件を示す。締固め機械は、一般部は10t振動ローラ、埋戻し部は60kgランマーを使用した。加水方法は、一般部は散水車、埋戻し部は人力で行った。

(3) 試験結果

a) 一般部

- ①水浸沈下量は、室内試験結果とほぼ整合する値が確認された。また、一度沈下した後の沈下量は小さいことが確認できた。
- ②加水した場合、少ない転圧回数で締固め度が向上、空気間隙率が減少、沈下量が減少する結果が得られた。ただし、加水は施工上、散水車1回走行程度(プラス1%程度)が限界であることがわかった。
- ③同じ締固め度でも空気間隙率が小さければ、沈下量が少ないことが確認された。

b) 埋戻し部

まき出し厚 30cm, 20cm でも Dc ≥ 95% が施工可能であり、水浸沈下量は極めて少ないことがわかった。

6. 設計・施工への提言

同様な材料で施工されている延伸区間の盛土において、水浸沈下を防止するためには、「誘因となる水の浸入及び滞留を防ぐ」「素因となる盛土の密度を改善する」の2つの方法が有効であり、様々な提言を行った⁸⁾。以下に代表的なものを示す。

(1) 水の浸入及び滞留を防ぐ方法

a) 表面排水対策

施工後に十分な放置期間(出水期を未経験)を経ず供用が開始されるような高盛土では、盛土内に表面水が浸透するのを防ぐために、裸地にアスファルトなどで表面遮水を行う。また、完成形で設計される排水路であるが、施工中や暫定施工の形状を考慮し簡易な材料で排水路計画を行う。

b) 豪雨対策

昨今頻発するのゲリラ豪雨を踏まえ、高盛土ではのり肩にアスカーブを設置して、路面排水がのり面

に流出しないように配慮する。

c) 湧水の処理

施工中に湧水が確認された場合は、暗渠工や排水層を敷設して対策する。のり面からの湧水については少量であれば排水パイプ(写真-6.1参照)等も有効である。ただし、パイプの口元はふとん簞などで補強し浸透崩壊を防止する。



写真-6.1 排水パイプ(例)

d) 地下排水対策

暗渠排水の本管はφ300mm以上とし、U字谷では2本以上、V字谷では1本以上を凹地に配置する。また、本管を2本以上設ける場合は、互いを途中で連結し土砂詰まりによる閉塞リスクを回避する。(図-6.1参照)暗渠管周囲のフィルター材は、流末が塞がると滞水層となるため、流末の排水処理を確実にやる。

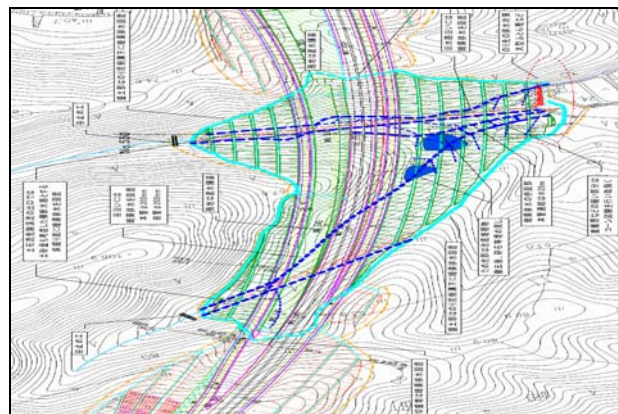


図-6.1 暗渠排水の配置計画例

e) 函渠・橋台背面の排水対策

裏込めおよび埋戻し部には雨水が集中しやすいので排水溝を設ける。構造物壁面に沿って裏込め排水工を設け、掘削および床掘り底面に暗渠管を設置し、集水した水を排水する。(図-6.2参照)

裏込め排水工には、透水性材料やポーラスコンクリートパイプ等があり、設置間隔は2m~4mとする。

f) 工事発注ロット

局所的集中豪雨が頻繁に発生する最近の気象状況を考慮し、工事の切れ目や暫定施工時の施工の境界部で一時的にでも排水系統が不連続とならないように、特に表面排水は工事ロット毎に完結するよう配慮する。

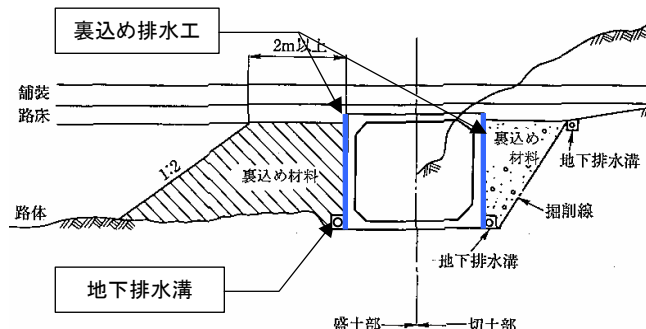


図-6.2 函渠工の地下排水工計画例

(2) 盛土の密度を改善する方法

a) 室内土質試験の頻度

事前に行う盛土材料の室内試験の頻度は、土木施工管理基準では切土1箇所あたり、または土質が変化するとともに1回の締固め試験を行う⁹⁾としているが、試料のバラツキを考慮し同じ土質であっても2万m³に1回とする。

b) 室内土質試験の項目

2万m³に1回行う室内試験の項目を以下に示す。

- ①土粒子の密度試験, ②土の含水比試験, ③粒度試験(最大粒径75mm以下), ④スレーキング率試験,
- ⑤礫のかさ比重試験, ⑥礫の吸水率試験, ⑦突固めによる締固め試験(B-c法), ⑧飽和土のせん断強度試験(土の三軸圧縮試験)。

以下の試験は、土質が変化するごとに実施する。

- ⑨水浸圧密試験⁷⁾(2mm以下の先頭粒土試料), ⑩突固めによる締固め試験(2mm以下のせん頭粒土試料A-b法)

c) 一般部の締固め管理目標値

現在、盛土の品質管理は締固め度(Dc≥90%)管理であるが、併せて空気間隙率Va≤13%を追加する。両方で管理することで、材料のバラツキを含めて盛土の品質を確保することができる。

d) 埋戻し部・構造物近接部の締固め管理目標値

埋戻し部等はDc≥95%を管理目標値とする。材料の選択や加水、施工機械を変更してもどうしてもDc≥95%が得られない場合は、購入土への変更を検討する。

e) 補強土壁管理

補強土壁部はDc≥95%を管理目標値とする。特にコンクリートパネルの壁際の締固めが重要であるので、特に念入りに締固めを行う。材料の選択や加水、施工機械を変更してもどうしてもDc≥95%が得られない場合は、購入土への変更を検討する。

f) 管理乾燥密度の設定方法

礫分の混入量が30%まではWalker-Holtzの礫補正值⁶⁾を、超える場合は最大粒径の異なる2種類の

締固め試験の最大乾燥密度が、片対数上で直線関係にあることを利用して設定した値¹⁰⁾も求め、大きい値を採用する。また、細粒分含有率 $F_c > 50\%$ の材料は盛土材として好ましくないため極力使用しない。やむを得ず使用する場合は良質土と混合する等の対策を行う。

g) 管理乾燥密度の設定方法（試験盛土）

水浸圧密試験から得られる沈下の起こらない締固め度を管理値とする。また、ローラー転圧回数を12回（6往復）まで実施し室内試験結果で得られた最大乾燥密度と現場（自然含水状態）で得られる最大乾燥密度を比較し、現場で得られた乾燥密度が室内の最大乾燥密度を超える場合は、その値を管理上の最大乾燥密度とする。また、逆の場合は2回（1往復）のローラー転圧後に散水車により加水を行い再度確認する。ここで、規定回数を定める場合の条件として、空気間隙率 $V_a \leq 13\%$ を併せて満足することとする。なお、この方法は盛土完成後、舗装工の施工までの期間が1出水期を越えることが分かっている場合は割愛する。

h) 施工管理計画

土木工事施工管理基準⁹⁾によれば、RI計器を用いた締固め管理は、 $1,500\text{m}^2$ に一箇所の管理としているが、当該ルートで発生する盛土材料は、わずかな締固め度の変化が水浸沈下に繋がる材料であるため 500m^2 に1箇所とする。特に、路面沈下が通行の障害となる、構造物の埋戻し部や近接部には、必ず1箇所以上の測定箇所を計画する。

7. まとめ

本報告では、供用開始直後に発生した淡輪ランプの高盛土の沈下現象について、メカニズムを解明すると共に、今後の工事の一助となるように追加的指針を策定した。以下に、安全で高品質な盛土を施工するためのポイントをまとめる。

(1) 設計

- ①裸地部から表面水を浸透させないように、表面遮水や排水溝を計画する。
- ②高盛土部では路面排水（円形側溝）下に基礎コンクリートを設置する。
- ③豪雨対策として、アスカープの設置や植生マットによるのり面保護などを計画する。
- ④盛土の地下排水工として、切盛り境界部の地下排水や盛土の最下部に透水性の良い材料を使用する。
- ⑤暗渠排水を設置する場合は、U字谷では2本以上、

V字谷では1本以上を凹地に配置する。また、本管の閉塞リスクを回避するために互いを連結する。
⑥構造物背面には裏込め排水工を、埋戻し部の最深部に排水溝を設置し確実に排水を行う。

(2) 施工

- ①事前に行う盛土材料の室内試験を 2万m^3 に1回とする。
- ②RI計器を用いた締固め管理箇所を 500m^2 に1箇所とする。特に、構造物の埋戻し部や近接部は必ず1箇所以上の測定箇所を設ける。
- ③一般部の盛土の締固め度は、 $D_c \geq 90\%$ に加え、空気間隙率 $V_a \leq 13\%$ を追加する。
- ④埋戻し部や補強土壁部では $D_c \geq 95\%$ を管理目標値とする。材料の選択や加水、施工機械を変更してもどうしても $D_c \geq 95\%$ が得られない場合は、購入土への変更を検討する。

謝辞：本報告をとりまとめるにあたり「淡輪 IC 排水対策検討委員会」で貴重なご意見を頂いた沖村孝委員長（神戸大学名誉教授）、常田賢一副委員長（大阪大学大学院教授）、澁谷啓委員（神戸大学大学院教授）、近畿地方整備局担当委員の各位、また資料の作成にご尽力を頂きました株式会社ウエスコに対し謝意を表します。

参考文献

- 1) 淡輪 IC 排水対策検討委員会，第2回委員会，2011。
- 2) 吉田幸信・高田修三・横田公忠・矢田部龍一：和泉層群の頁岩のスレーキング特性とメカニズムに関する一考察，土木学会論文集 No. 750/III-65, 15-25, 2003。
- 3) 第二阪和国道の整備，岬町ホームページ，
URL: http://www.town.misaki.osaka.jp/nikoku/ni_page/ni_page_0001.html
- 4) 日本高速道路株式会社，設計要領第一集，土工編，p2-22, 平成21年4月
- 5) 大臣官房技術調査室長，RIを用いた盛土の締固め管理要領（案），平成8年8月
- 6) （社）地盤工学会，地盤材料試験の方法と解説，高二分冊の1-，pp. 380-381, 平成21年11月
- 7) 川尻峻三，澁谷啓，鳥居宣之：ジオテキスタイル補強土壁の変状メカニズムに関する事例研究，地盤工学ジャーナル，Vol. 6, No. 1, pp. 15-25
- 8) 近畿地方整備局 浪速国道事務所，第二阪和国道（淡輪～府県境）盛土工に関する追加的指針，平成23年12月
- 9) 国土交通省，土木施工管理基準及び規格値（案），平成23年3月
- 10) 長谷川憲孝・田中康雄・高橋嘉樹・南部光広・野並賢：神戸空港島埋立土の物理・力学特性，土木学会論文集 C, Vol. 63 (2007), No. 1, pp. 174-187

(2012.05.11. 受付)