道路盛土における圧縮沈下の実態と剛性カルバートへの影響

The settlement of compacted road embankment and its influence on the culverts

島田	1忠則	Tadanori SHIMADA	(四国道路エンジニア(株))
平野	毅志	Takashi HIRANO	(日本道路公団広島技術事務所)
林	光男	Mituo HAYASHI	(日本道路公団広島技術事務所)

本論文は、剛性カルバートに作用する鉛直土圧と裏込め部の圧縮沈下率の関係を現地試験・ 室内試験・FEM解析によって定量的に評価したものである。カルバートの鉛直土圧は裏込 め部の圧縮沈下率が大きいほど増加する。火山灰粘性土やスレーキング材を裏込め部に使用 すると残留圧縮沈下によって盛土完了後もカルバートの鉛直土圧が増加する。軟弱層が表層 部に介在する基礎地盤でカルバート直下のみを良質土で置き換えた場合は裏込め部の圧縮沈 下率が過大となりカルバートの鉛直土圧が極端に大きくなる。カルバートに作用する鉛直土 圧の過大な増加を防止するためには裏込め部の盛土材選定、入念な締め固め、地下排水工の 実施が特に重要となる。

キーワード:カルバート,鉛直土圧,鉛直土圧係数,裏込め,盛土の締め固め,圧縮沈下 (IGC:E-5,H-8)

1.はじめに

我国の高速道路網の整備が進むにつれてその建設は列 島を横断して進められるようになり、日本道路公団(JH) の建設する盛土の中には 30mを越えるものも現れてきた。 このような高盛土を構築する場合、盛土の安定性を確保す ることはもちろんのこと、盛土の圧縮沈下の影響を最小限 にする設計施工も重要となる。

盛土に使用する材料は多種多様な現地発生材が使用さ れるので、それぞれの土質に応じた地下排水対策工や締固 め作業を実施しないと予想を越えた盛土の圧縮沈下とな ることがある。盛土の圧縮沈下が予想以上に大きいと、舗 装段階で計画高不足や道路幅員不足が生じたり、供用段階 で構造物(橋台またはカルバート)裏込め部に段差が生じ たり、また、切盛り境や腹付盛土部で不同沈下が生じて、 路面の平坦性がそこなわれて通行車輌の快適な走行をさ またげることになる。

道路盛土が農道などの幅の狭い道路や水路と交差する 場合、盛土の中に鉄筋コンクリート造の横断構造物(剛性 カルバート)を設置する。カルバート裏込め部に使用した 土質が火山灰粘性土やスレーキング材(乾湿繰り返し作用 をうけて塊状の岩が細粒化する土質)であったり締め固め が不十分であった場合などに、大きな圧縮沈下が発生し剛 性カルバートに設計以上の鉛直土圧が作用してクラック などの変状をきたすことがある。これはスパングラー・マ ーストン(Spangler Marston)の理論¹⁾に示すように剛性 カルバートが裏込め部の圧縮沈下の影響によっていわゆ る突出型の埋設構造物として挙動し、土かぶり厚から算定 した土かぶり荷重よりずっと大きい鉛直土圧が作用する ためである。

盛土の土質や締め固めの度合と圧縮沈下の大きさの

関係^{2),3),4),5),6)}や、土かぶり厚と剛性カルバートに作用す る鉛直土圧の大きさの関係⁷⁾についての定量的な資料は それぞれ報告されている。しかし、カルバート裏込め部の 圧縮沈下の大きさと剛性カルバートに作用する鉛直土圧 の大きさの関係についての定量的な資料の報告は少ない。

本論文では、過去に報告された盛土などの圧縮沈下の実 態からカルバート裏込め部の圧縮沈下の大きさを整理し た。また、室内実験によってカルバート周辺の盛土の圧縮 沈下状況を把握するとともに、FEM 解析によって剛性カル バートに作用する鉛直土圧を算定した。さらに、これらの 結果を著者らが過去に現地で得た剛性カルバートに作用 する鉛直土圧の現地での実測値ⁿと比較した。その結果、 カルバート裏込め部の圧縮沈下の大きさと剛性カルバー トに作用する鉛直土圧の大きさの関係がある程度明確に なった。



著者らは剛性カルバートに作用する鉛直土圧の実態に

2. 剛性カルバートに作用する鉛直土圧の実態

図-1 カルバートの設計に用いる鉛直土圧係数の考え方



図-2 土かぶり荷重と鉛直土圧の経時変化の関係(現地試験)

ついて全国 30 箇所で得られた実測値を整理した。その結 果、すでに報告したⁿように、剛性カルバートに作用する 鉛直土圧の大きさは、盛土材の土質や締め固めの度合に関 係していることが明らかになった。図-1 にカルバートの 設計に用いる鉛直土圧係数の考え方を示す。

(1) 鉛直土圧の経時変化のパターン

剛性カルバートに作用する鉛直土圧の経時変化を実測 した事例について、横軸に経過日数、縦軸に土かぶり荷重 及び鉛直土圧をとって整理すると3パターンに分類でき る。図-2 はその一例であり、図中、土かぶり圧は〇印、 鉛直土圧は●印で示す。Ⅰ型パターンは、盛土が完了する と鉛直土圧の増加もほとんど終わる一般的なパターンで ある。Ⅱ型パターンは、盛土完了後も鉛直土圧が増加する パターンである。このパターンは、盛土材料の土質が粘性 土やスレーキング材にみられる。砂質土でもⅡ型パターン の鉛直土圧の挙動を示すものがあるが、これは、カルバー ト裏込め部の盛土の締め固め程度は良好であるが、基礎地 盤が軟弱層の場合にカルバート直下のみを良質材で置き 換えたり、杭基礎にしたケースにみられる。なお、Ⅱ型パ ターンの鉛直土圧の挙動を示すもののうち、図-2(d)の ごとく、計測中に鉛直土圧が土の応力の再配分などによっ て、ある一定値に落ち着いているケースもある。Ⅲ型パタ ーンは、盛土中または完了後に鉛直土圧が減少するパター ンである。カルバートが基礎地盤の支持力不足等によりわ ずかに不等沈下したことが原因と判断される。





(2) H/Bo と鉛直土圧係数 α の関係

図-3 は、横軸に H/Bo(カルバートの土かぶり厚/カル バートの幅)をとり、縦軸に鉛直土圧係数αをとって、両 者の関係を示したものである。図中、階段状に示す太線は 高速道路のカルバート設計に用いる鉛直土圧係数の設計 値を示したものである。この設計値と実測の鉛直土圧係数 を比較すると、鉛直土圧係数の実測値は設計値の周辺に分 布するのではなく相当広範囲に分散している。この分散の 状況はカルバートの形状・寸法や盛土の湿潤単位体積重量 の違いにそれほど影響されていない。実測の鉛直土圧係数 が設計値よりも大きい値を示すのは、鉛直土圧の増加パタ ーンがⅡ型パターンを示す場合に多い。



図-4 盛土高と盛土完了時の圧縮沈下量の関係(現地試験)



図-5 盛土高と残留圧縮沈下量の関係(現地試験)

3. 盛土の圧縮沈下の実態

(1) 盛土高と圧縮沈下の関係

図-4 は、横軸に盛土高をとり、縦軸に盛土完了時の圧 縮沈下量をとって両者の関係を示したものである。採用し たデータは道路盛土のほか、既発表の空港、アースダム、 土地造成の高盛土のデータも参考にした^{80,90,100,110,120}。盛 土高が大きくなると盛土完了時の圧縮沈下量は増加する 傾向にある。図中の斜線は盛土完了時の圧縮沈下量を盛土 高で割って求めた圧縮沈下率を示す。盛土の土質が粘性土 やスレーキング材の場合に圧縮沈下率は5%を超えるケ ースがある。この圧縮沈下率は盛土全体の平均値を示すも ので、盛土深部では大きく浅部では小さくなるものと判断 される。

図-5 は、横軸に盛土高をとり、縦軸に盛土完了後に発 生した残留圧縮沈下量をとって両者の関係を示したもの である。盛土の放置期間はデータによってまちまちで数ヶ 月から数年の幅がある。残留圧縮沈下量の大きさは、放置 期間の長さよりも盛土の土質や締め固めの度合に大きく 関係していると判断される。図中の斜線は残留圧縮沈下量 を盛土高で割って求めた残留圧縮沈下率を示す。岩砕やま さ土など砂質土の場合、残留圧縮沈下率はほとんどないが、 スレーキング材の場合は0.5%以上と大きくなることが



図-6 スレーキング材の残留圧縮沈下率(現地試験)



図-7 空気間隙率と圧縮ひずみの関係(室内試験)

ある。

(2) スレーキング材の圧縮沈下

第三紀泥岩、第四紀火山噴出物、熱水変質を受けた岩な どの中には、掘削時は硬く塊状で産出しこれを盛土材とし て使用すると空隙の多い盛土となる場合がある。盛土施工 後に雨水等の浸透に伴う乾燥湿潤の繰り返し作用を受け て、塊状の岩が細粒化して空隙を充填し盛土の圧縮沈下を 大きく進行させることがある。このような性状をもつ土質 をスレーキング材と称する。

図-6 は、スレーキング材で盛土した事例について、横軸に盛土完了(または舗装完了)からの経過日数をとり、 縦軸に圧縮沈下率をとって両者の関係を示したものであ る。図中の畦田、小郡、八幡のデータは舗装完了からの経 過日数をとった。圧縮沈下率の進行程度をみてみると、仙 台のように盛土完了後70日程度で約0.5%の値を示すも の、南紀S-7のように盛土完了後100~200日の間で約 1.0%の値を示すもの、畦田のように舗装完了後100~300 日の間で約2.5%の値を示すもの、小郡や八幡のように舗 装完了後1000~5000日の長期間をかけて、約1.2~1.8% の値を示すものなど種々のパターンがみられる。なお、 図に東名愛鷹試験盛土(盛土高20m)の火山灰粘性 土の残留圧縮沈下率の長期沈下状態も併記している。



図-8 橋台裏込め部の圧縮沈下の形状(東名)

火山灰粘性土の残留圧縮沈下率は、スレーキング材 のそれと同程度である。

スレーキング材の圧縮沈下率を大きくする要因として は、土質そのもののほか盛土締め固め時の空気間隙率の大 きさがある。空気間隙率は締め固めた土の全体積に占める 空気間隙部分体積を表わす指標であり、岩塊ばかりで盛土 するとその値は大きくなるが岩塊を小割りした礫や土砂 でつつみ込むように盛土すると空気間隙率は小さくなる。

図-7は、スレーキング材の乾燥湿潤繰り返し圧縮試験 (JHS-115-1992)の結果で、横軸に空気間隙率をとり、縦 軸に乾燥湿潤を3回繰り返したときの圧縮沈下率をとっ てその関係をみたものである¹³⁾。試験は三浦泥岩につい て高盛土下の状態を想定して載荷荷重を294kN/mと 981kN/mの2ケースで実施した。一般的に空気間隙率が 15%以下の場合、載荷荷重の大きさに関係なく圧縮沈下率 は1%前後であるが、空気間隙率が15%以上になるとその 値が大きいほど、また、載荷荷重が大きいほど盛土の圧縮 沈下率は大きくなる傾向がある。

スレーキング材の圧縮沈下率を大きくする要因は、土質 や空気間隙率のほかに、盛土工事中に晴天続きのため盛土 材が乾燥側で施工された場合や谷部の盛土など雨水や地 下水が集まりやすい地形条件であるのに地下排水対策が 不十分な場合などが挙げられる。

(3) 橋台裏込め部の圧縮沈下の形状

図-8 は、東名高速道路(横浜〜富士)の開通後1~2年 後に実施した踏掛版を設置していない場合の橋台裏込め 部 85 個所の道路縦断方向の路面の沈下形状を示したもの である¹⁴⁾。大別すると5つのタイプに分類され、タイプ Iの沈下形状が28%、タイプIIの沈下形状が28%、タイ プIIの沈下形状が7%、タイプIVの沈下形状が8%、その 他が29%であった。図に示すLの長さは比較的長いもの もあるが多くは橋台から2~3mの範囲内にある。これら の形状は、舗装自体を介在しているけれども橋台裏込め部





土かぶり厚 17.3m

図-10 アーチカルバート裏込め部の圧縮沈下(現地試験)

の盛土の圧縮沈下の形状が路面に表われていると判断で きる。圧縮沈下の形状の違いは、原地盤の地形・地質や盛 土の土質や締め固めの度合によるものと判断される。

この橋台裏込め部の圧縮沈下の形状と、カルバートに作用 する鉛直土圧の大きさの関係を明確にするのは、今後の課 題である。

(4) カルバート裏込め部の圧縮沈下

図-9 は、横軸に土かぶり荷重(kN/m)をとり、縦軸に 裏込め部の圧縮沈下率をとって 9 事例の観測値をプロッ トしたものである⁷。土かぶり荷重が大きくなると裏込め 部の圧縮沈下率は大きくなる傾向にある。

図-10 にアーチカルバートの裏込め部の圧縮沈下の実 測結果の一例を示した。盛土材は砂質土であるが圧縮沈下 量が大きい。カルバートは基礎地盤が約5mのルーズな堆 積層での施工である。カルバート底盤はルーズな堆積層を 掘削して設置されているが、裏込め部はルーズな堆積層を 残したままで盛土している。このため、このルーズな堆積 層の圧縮沈下量がさらに加味され、裏込め部の圧縮沈下量 が 67.5 cmと大きくなったものと考えられる。

4. 室内実験による検討

(1) 実験方法

実験装置は、図-11 に示すように前面ガラス張りの鉄製 容器(幅 96 cm,高さ 81 cm,奥行 17 cm)を用いた。カル バートのタイプはボックス型(幅 15 cm,高さ 15 cm,奥行



図-11 実験装置

17 cm) とパイプ型(直径15 cm, 奥行17 cm)の2タイプ (木製)とした。鉄製容器には、カルバート側方底面にス ポンジを設置した。スポンジは図-12に示す密度0.026g/ cm³(図中①)と0.050g/cm³(図中②)の2種類の硬さの ものを使用した。スポンジの厚さは7.0 cmと3.5 cmとした。

実験は、各モデルに細粒(直径 2mm)の鉛玉を厚さ1 cm ごとに水平に極薄紙片をはさみ込みながら鉄製容器内に 積み重ねた。鉛玉の物理特性を表-1 に示す。設置するス ポンジは水を含ませたあと凍結させたもので、鉛玉の積み 重ねが完了したあとしばらくは解凍しない。スポンジの密 度と厚さを任意に調整して解凍後のカルバートの側部の 圧縮沈下量を変化させた。スポンジの解凍後のカルバート 周辺の鉛玉の圧縮沈下の様子をはさみ込んだ極薄紙片の 変化の状態から観察した。なお、室内実験はカルバート周 辺の圧縮沈下の状態を定性的に把握するためのもので、相 似則は考慮していない。

(2) カルバート周辺の盛土の圧縮沈下状況

図-13 は、カルバート周辺の盛土の圧縮沈下状況の一例 を示したものである。図の左側にボックスカルバート、右 側にパイプカルバートの例を示す。また、それぞれについ て左側にスポンジ凍結時を右側に解凍後のカルバート周 辺の圧縮沈下状況を示す。図の上段は裏込め部の圧縮沈下 が小さい場合(スポンジの密度0.050g/cm³,厚さ3.5 cm)、 図の下段は圧縮沈下が大きい場合(スポンジの密度 0.026g/cm³,厚さ7 cm)である。図に示されるように、カ ルバートの形式に関係なく、カルバートの側方(裏込め部) の圧縮沈下によって等沈下面が凸型の状態を示し、カルバ ート上部の鉛玉が裏込め部の鉛玉の沈下による摩擦力で 下向きのせん断力を受けている様子がよく表われている。 この傾向は、側方底面に設置したスポンジが低密度なもの ほど、また、設置厚が厚いほど(すなわち裏込め部の圧縮 沈下が大きいほど)よく表われている。

表-1 鉛玉の物理特性

	試験項目	試験結果						
	土粒子の密度試験		ρ. (g/	cm ³) 11.105				
	主の粒度試験	最大粒径	D _{max} (mi	n) 2.00				
		平均粒径	D ₅₀ (mm	n) 2.00				
	最大・最小密度試験	最大間隙比	e max	0.714				
		最小間隙比	e _{min}	0.649				
	三軸圧縮試験 (CD)	粘着力	C₄ (kN	l/m²) 0				
	(平均間隙比 e =0.668)	せん断抵抗角	ゆ」 (度)	21.5				
	中空ねじりせん断試験(CD)	粘着力	C ₄ (kN	l/m²) 0				
	(平均間隙比 e=0.683)	せん断抵抗角	ø _d (度)	28.8				
圧縮ひずみ (%)	10 8 8 10 0 0 20 0 0 30 0 0 40 0 0 50 0 0 60 0 0 70 0 0 80 0 0 90 0 0 1 10			EPS D-12(0.012) EPS D-30(0.030) - スポンジ軟(0.026) - スポンジマ(0.050) - スポンジマ(0.057)				
	戰何心力(kN/m [°])							
図-12 スポンジの圧縮特性								



図-13 カルバート周辺の圧縮沈下状況(室内試験)

5. FEM解析による検討

(1) 概要

FEM解析は、ボックスカルバートの形状効果を確認す るために、カルバート外幅 Bo(m)×高さ Ho(m)が4×4, 4×7,7×4,7×7,7×10,10×7の6ケースを比較した。 図-14 (a) に示すようにカルバートを良好な基礎地盤上に 直接設置し土かぶり厚 50mの盛土をした場合について、 カルバートに作用する鉛直土圧の大きさ、カルバート裏込 め部の圧縮沈下の状態、盛土内部に生ずるせん断応力の分 布状況などを解析した。なお、7×7のカルバートについ ては、図-14 (b) に示すように 1m厚の軟弱層が表面に介 在する基礎地盤でカルバート直下のみを良質土で置き換 えた場合(不良な基礎地盤) も解析した。

(2) 解析モデル

FEM解析モデルは、盛土などについては土の圧縮およ



びせん断挙動に関する弾塑性挙動を考慮した関ロ・太田モ デルによる弾塑性モデルとし、ボックスカルバートについ ては構造体を弾性モデルとした。ただし、盛土などの場合、 表面に介在する軟弱層は弾塑性領域で解析するが、盛土や 基礎地盤や置き換え土については盛土荷重によって降伏 しない弾性領域で解析するように圧縮降伏応力 p,を設定 した。ボックスカルバートと盛土などとの境界にはジョイ ント要素を設け境界にすべりが生じるようにした。解析に 用いた常数を表-2 に示す。盛土などの単位体積重量は 19.6kN/m³とした。ボックスカルバートはE=2.55×10⁷ (kN/m)、ポアソン比v=0.17 とした。また、盛土など の応力~圧縮ひずみ曲線を図-15 に示す。図-16 はFEM 解析に用いた有限要素メッシュ図である(節点数 1360, 要素数1296、X方向固定、Y方向自由)。カルバート中央 部より左右対象であるとしてカルバート中央より右側 60 mを解析範囲とした。盛土は 2m、5m、10m、それ以降は 10m ごとに 50mまで合計 7 段階載荷とした。著者らが実施 した室内載荷試験およびFEM解析の報告¹⁵⁾のとおり、 本解析モデルによる解析結果は室内試験の結果とよく一 致する。

(3) 解析結果

1) 基本ケース

良好な基礎地盤上に設置した 7×7 のボックスカルバートの解析結果を以下に示す。図-17 は、カルバート横断方向のA~D各点について、横軸に土かぶり厚をとり、



表-2 FEM 解析に用いた常数

	盛土(締	基礎部		
	め固め度 90%)	基礎地盤	置換え土	軟弱地盤
圧縮指数λ	0.204	0.012	0.012	0.434
膨潤指数 κ	0.0065	0.0012	0.0012	0.129
先行圧密荷重 p _y (kN/m ⁱ)	2000	2000	2000	98
破壞応力比M	1.6	1.6	1.6	1.5
ポ アソン比 レ	0.33	0.33	0.33	0.3
初期間隙比e。	0.43	0.43	0.43	2.0

縦軸に鉛直土圧係数α(=(鉛直土圧)/(土かぶり圧)) をとってその関係をみたものである。各点とも土かぶり厚 が増すとα値は増加するが位置によってその傾向が異な る。センター部(A点)よりも端部(D点)の方が土かぶ り厚の増加に伴うα値の増加傾向がきわだって大きい。こ れは裏込め部の圧縮沈下の影響が現れているものと判断 される。また、土かぶり厚が50mに達すると隣接内側(C 点)のα値の増加が大きくなりその分D点のα値が低下し ている。これは後述するように盛土内部のせん断応力の発 達に伴う応力の再配分の影響が出ているものと判断され る。

図-18 は、横軸にカルバート中心からの距離をとり、縦 軸に各位置の圧縮沈下率(図-14 に示すカルバート 天端高さの圧縮沈下量をカルバートの高さで除した値)を とって、各土かぶり厚ごとの両者の関係をみたものである。 土かぶり厚が増加すると各位置の圧縮沈下率は増加する 傾向がみられる。ただし、土かぶり厚10mごとの圧縮沈

- 58 -





下率の増分は土かぶり厚が大きくなるにしたがって小さ くなる傾向にある。カルバート裏込め部の圧縮沈下率はカ ルバート端部から約 5mの位置まで増加するがそれより 離れた位置では同じ値を示す傾向にある。

図-19 は、有限要素メッシュ図に土かぶり厚 10,30,50 mにおける盛土内部のせん断応力の分布状況を示したも のである。カルバート上端には上向き方向の範囲に右下り のせん断応力が発達し、カルバート下端には下向き方向の 範囲に右上りのせん断応力が発達している。このせん断応 力の発達は土かぶり厚が増加するほど大きくなっており、 カルバートに作用する鉛直土圧発生のメカニズムの一端 を示しているものと判断される。

2) ボックスカルバートの形状効果

図-20 は、良好な基礎地盤上に設置した 6 形状のボッ クスカルバートと不良な基礎地盤上に設置した 7×7 のボ ックスカルバートの合せて 7 ケースについて、横軸に土か ぶり厚をとり、縦軸にカルバート端部(D点)の鉛直土圧 係数をとってその関係をみたものである。不良な基礎地盤 上に設置したボックスカルバート端部の α値が一番大き い。良好な基礎地盤上に設置したカルバートの端部の α値 は、縦長の形状(7×10,4×7)、矩形(4×4,7×7)、横 長の形状(7×4,10×7)の順に大きい傾向がある。カル バートの幅が一定(7m)の場合、カルバートの高さが大 きいほど α値が大きい傾向がある。また、カルバートの高 さが一定(7m)の場合、カルバートの幅が大きいほど α 値は小さい傾向がある。



図-21 は、7 ケースのカルバートについて、横軸にカル バート中心からの距離をとり、縦軸に各位置の圧縮沈下率 をとって土かぶり厚 50mの場合の両者の関係をみたもの である。不良な基礎地盤上に設置したカルバートの場合の 圧縮沈下率が一番大きい。また、カルバート裏込め部の圧 縮沈下率はカルバート端部から約 20mの位置までは増加 する傾向にある。良好な基礎地盤上に設置したカルバート の場合、カルバート裏込め部の圧縮沈下率はカルバート端 部から約 5mの位置まで増加するがそれより離れた位置 ではおおむね同じ値を示す場合とそうでない場合がある。 この理由は、今後の検討課題である。また、圧縮沈下率は 縦長の形状(4×7,7×10)、横長の形状(7×4,10×7)、 矩形(7×7,4×4)の順に大きい傾向にある。

3) 裏込め部の圧縮沈下率と鉛直土圧係数の関係

図-22 は、7 ケースのボックスカルバートについて、カ ルバート端部から 5m離れた位置の圧縮沈下率とカルバ ート端部の鉛直土圧係数の関係を示したものである。図か ら明らかなように、カルバート端部の鉛直土圧係数は裏込 め部の圧縮沈下率が大きくなると増加する傾向がある。

6.まとめ

以上論述した結果をとりまとめると次のとおりである。

- (1) カルバート裏込め部の圧縮沈下率が大きいほど、剛性 カルバートに作用する鉛直土圧は大きくなることが、 現地試験・室内試験・FEM 解析のいずれからも確認で きた。
- (2) ボックスカルバート横断方向の鉛直土圧は、カルバ ート中央部よりも端部が大きくなる。これは、裏込 め部の圧縮沈下に伴う盛土のひきずり込みによって



カルバート端部上方向の範囲に右下がりのせん断応 カが発生することによるものと判断される。

- (3) カルバート裏込め部の圧縮沈下率は一般的な土質の 場合、3~5%程度である。
- (4) カルバート裏込め部の盛土材料が火山灰粘性土やスレーキング材であるとその締め固め程度によっては 圧縮沈下率が5%を超すことがある。また、盛土完了 後も残留圧縮沈下率が0.5%以上になることもある。 このような場合、盛土完了後もカルバートに作用す る鉛直土圧が増加することがある。
- (5) 軟弱層が表層部に介在する基礎地盤でカルバート直 下のみを良質土で置き換えた場合、裏込め部の圧縮 沈下率が過大となりカルバートに作用する鉛直土圧 が極端に大きくなることがある。

7. あとがき

剛性カルバートに作用する鉛直土圧を通常の設計で考 慮している値より極端に大きくさせないためには、裏込め 部の盛土材料の選定と入念な締め固め、および十分な排水 対策工の実施が重要なことについて、設計施工にたずさわ る技術者が常に念頭に置くことが大切である。

謝辞

本件に関する重要なデータを蓄積されてきたJHの大 勢の方々に改めて敬意と謝意を表します。本文のとりまと めにあたって、とくにご指導を賜った広島大学佐々木康先 生に深甚の謝意を表わします。





参考文献

- Spangler, M. G. : Underground Conduits An Appraisal of Modern Research, Trans. ASCE, pp. 316-374, 1948.
- 近藤正:関東ローム盛土の圧縮変形、日本道路公団業 研第5回、pp.420-424、1963.
- 松井正弘,土屋忠三,三嶋信男:道路盛土の変形と対策 - 火山灰質粘性土の測定を中心に-、土と基礎、 Vol.20、No.12、pp.11-16、1972.
- 石井恒久:道路盛土の圧縮沈下について-粗粒土の室 内試験結果による-、土と基礎、Vol.25、No.5、 pp.13-20、1977.
- 5) 三嶋信雄,星野克之,森本美樹:火山灰質粘性土盛土の 長期安定性、日本道路公団試験報告、Vol. 30、pp. 33-41、 1993.
- 奥園誠之:盛土の締め固め技術の盲点、地盤と建設、 Vol.16、No.1、pp.1-5、1998.
- 7) 島田忠則,平野毅志:発泡スチロール布設による剛性 カルバートの鉛直土圧軽減効果に関する現地試験結 果、土木学会論文集(投稿中)
- 8) 宇梶文雄:アースダムの変形と対策、土と基礎、Vol.20、
- No.12, pp.17-24, 1972.
- 9) 福島県:福島空港工事誌、pp.175-200、1989
- 10) 下村幸男,鶴山直義,福岡知久:粘性土および軟岩材 料による高盛土の沈下特性(青森空港・岡山空港)、 こうえいフォーラム創刊号、pp.91-96、1992.
- 11) 藤田武彦,山中敏和,石黒昌信,中里誠司:南紀新空港 造成高盛土における水浸沈下について、土木学会論 文報告集第 575 号、pp. 231-241、1997.
- 12) 運輸省広島陸湾空港事務所:平成10年度、広島空港 盛土動態観測調査報告書、pp.4-1~4-7、1999.
- 13) 加藤陽一,緒方健治,川井洋二:スレーキング材料を 使用した高盛土の圧縮沈下軽減および強度低下抑制 対策、日本道路公団試験研究所報告、Vol.36、pp.1-9、 1999.
- 14) 島博保,長谷川幸夫:構造物取付部の沈下実態とその 対策、舗装、pp.20-23、1972.
- 15) 島田忠則,平野毅志:発泡スチロール布設による剛性 カルバートの鉛直土圧軽減効果に関する室内試験及びFEM解析結果、土木学会論文集(投稿予定)

-60 -