

剛性ボックスカルバートに作用する土圧の軽減 工法に関する遠心載荷模型実験

岡林宏二郎¹・河邑眞²・大谷亘³・秋山幸二郎⁴

¹正会員 工修 高知工業高等専門学校講師 土木工学科 (〒783 高知県南国市物部新開乙200番1)

²正会員 工博 豊橋技術科学大学助教授 工学部建設工学系 (〒440 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

³正会員 高知工業高等専門学校教授 土木工学科

⁴高知工業高等専門学校技官 土木工学科

たわみ性材料を敷設することで突出型の剛性カルバートに作用する鉛直土圧を軽減する工法の有効性について、遠心載荷模型実験により詳細な検討を行った。まず、たわみ性材料敷設による土圧軽減効果について、たわみ性材料の敷設位置と幅をパラメーターとして実験を行い、設計値、マーストン・スパングレーの式による値、有限要素解析結果などと実験結果を比較し、たわみ性材料の最適な敷設位置について考察した。

次に、最も効果が上がったケースを対象にして不同沈下、土の密度、含水比、盛土材料など各要因の影響について調べ、本工法の実用性を検証した。

Key Words : centrifuge model, finite element method, earth pressure, arching, design, ground deformation

1. はじめに

道路と道路、あるいは道路と水路等の交差構造物の一つに、カルバートが利用されている。カルバートは設置方法により(a)自然地盤に溝を掘削してカルバートを設置して盛土を行う溝型(b)水平地盤上に直接カルバートを設置して盛土を行う突出型に分類できるが、溝型は施工上手間がかかることや、掘削時に設置した矢板引き抜き時に大きな土圧が作用する¹⁾ことなどから突出型が多く用いられている。

突出型のカルバートに作用する鉛直土圧は、盛土高が高くなるに従い土被り圧より大きくなり、割り増しが必要となって、高盛土などでは工費がかさむのが一般的である。この鉛直土圧を軽減する工法に、たわみ性材料を敷設してカルバート上部に強制沈下を発生させて鉛直土圧を軽減させる工法がありその有用性について現場試験や模型実験等も行われている^{2),3),4)}。

この工法はトンネル掘削時の緩みによる土圧軽減と同様の効果を人為的に起こすもので、そのメカニズムについては従来から、すべり説・アーチ説に二分されている⁵⁾。すべり説は、沈下部周辺地盤に認められる土粒子間の相対変位の大きい領域での現象を一つのすべり現象と考えすべり面を仮定するもので、アーチ説は、沈下部上方にアーチ状の粒子間力の伝達線の形成を考慮するものである。

本研究では、小型模型で原型と同じ応力状態および地盤挙動が再現できる遠心模型実験により、たわみ性

材料敷設による土圧軽減工法の有効性とたわみ性材料の敷設位置や敷設幅との関係について調べた^{6),7)}。軽減効果を定量的に評価するために、実験結果と既往の設計値、マーストン・スパングレー式による値およびFEM解析結果との比較を行った。また、地盤の変形状状について計測結果およびFEM解析結果から、軽減効果のメカニズムについて考察を加えた。

さらに、軽減効果の最も大きい敷設位置のモデルに対して一連の遠心載荷実験を行い、地盤の不同沈下、土の密度や含水比、盛土材料の種類などの各要因が土圧軽減効果に及ぼす影響について吟味した。

2. 実験方法

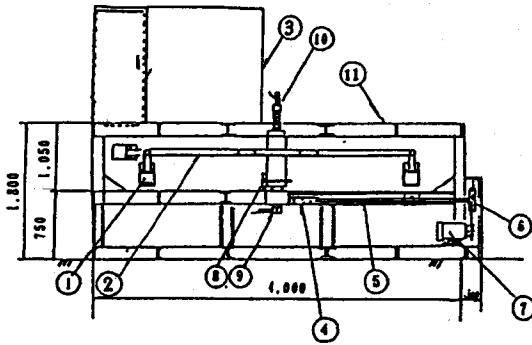
(1) 実験装置

図-1は用いた遠心装置の概略で、公称回転半径1.55m、最大加速度200g(g :重力加速度)、最大容量22g・tonである。ローターの回転は、22kW三相モーターにより、また回転速度の制御は、インバーターによる周波数制御によって行う。

(2) たわみ性材料

土圧を軽減するためのたわみ性材料として、発砲スチロールを使用した。その圧縮特性を図-2に示す。10%のひずみまでは弾性変形を示し、その後塑性変形を示す。

50gの遠心力場でカルバート上に作用する土被り



- | | | |
|-------------------|--------------|----------------|
| 1.container | 2.rotary arm | 3.dark room |
| 4.universal joint | 5.shaft | 6.pulley |
| 7.moter(22kw) | 8.brake | 9.rotary joint |
| 10.slip ring | 11.floor | |

図-1 遠心載荷装置

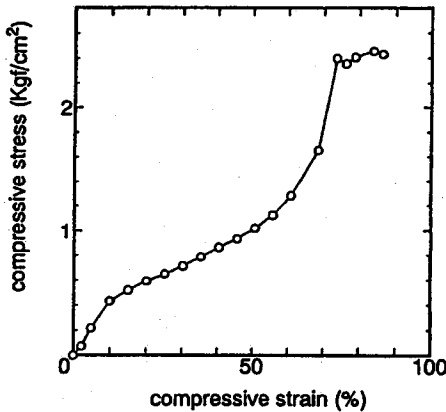


図-2 たわみ性材料の圧縮特性

圧を考えると 1.62 kgf/cm^2 (0.16 MPa) となる。図-2で圧縮応力が 1.62 kgf/cm^2 (0.16 MPa) のときのヒズミを見ると、70%を越えている。したがって、50g程度の遠心加速度を作用させれば、たわみ性材料の変形による土圧軽減の効果をみるのに十分と考えられる。本実験では、80gまでの遠心加速度の載荷を行った。

(3) 実験模型

図-3にたわみ性材料を上方に敷設した場合の全ケースの模型供試体作成状況を示す。模型材料は標準砂を盛土材料とし、ボックスカルバートは剛な硬質アルミ ($60 \times 60 \times 140 \text{ mm}$, 厚さ 2 mm) を用い、たわみ性材料は発砲スチロール (厚さ 10 mm, 幅 160 mm および 60 mm) を用いた。土圧計 (容量 10 kgf/cm^2 (0.98 MPa))

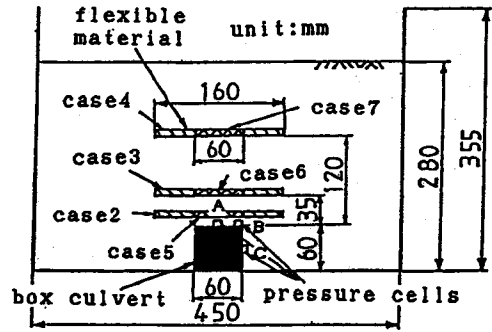


図-3 模型の作成状況 (たわみ性材料上方敷設)

は、設計において断面照査を行うカルバート頂版中央(A)と頂版端部(B)および側版中央(C)に取り付けた。土圧計を突出して取り付けられた場合の測定誤差は、数%程度以上生じると推定される。しかしながら、実験モデルの作成が困難なため、本実験ではカルバート表面上に土圧計を取り付けた。また、容器とカルバートの境界面での砂の侵入を防ぐため、カルバート前面にはラバーを貼り、後面にはウレタンを貼った。さらに、沈下状況をみるためターゲットを 4 cmピッチに埋めた。

実験は、模型供試体に遠心加速度を 10 g 毎に段階毎に増加させる方法で行い、各土圧計の値が安定したことを確認後次の載荷段階へと進んだ。この実験では、施工過程を完全に再現していない。しかし、施工過程の相違に起因する不同沈下量の影響については、後述の 5章の各要因の検討において考察を加える。

(4) 実験方法と実験ケース

表-1に、実験ケースと実験条件の一覧表を示す。ケース 1~ケース 14が、たわみ性材料の位置と幅による軽減効果比較のための実験であり、ケース 1とケース 8はたわみ性材料を敷設していない場合で、ケース 2~ケース 7がたわみ性材料を上方に敷設した場合で、ケース 9~ケース 14はたわみ性材料を下方に敷設した場合を示す。なお、たわみ性材料を下方に敷設する場合の実験は、カルバートを取り囲むようにアーチが形成され、アーチ機能により土圧の軽減効果が発揮されるかどうかを検証するために行った。

ケース 15~25は各要因を検討したもので、ケース 15~17は不同沈下量の影響を、ケース 18~21は盛土の密度の影響を、ケース 22,23は含水比の影響を、そしてケース 24,25で盛土材を粘性土とした場合について検討している。

表-1 実験ケースと実験条件

Test Cases	Position		Width (mm)	Test Cases	Parameter	Position of flexible material (condition)
	Culvert	Flexible material				
Case 1	bottom of the container	—————	160	Case 15	Differential settlement	both sides of the culvert (t=10mm)
Case 2		just on the culvert		Case 16		both sides of the culvert (t=5mm)
Case 3		35 mm above the culvert		Case 17		both sides (t=5mm), just on the culvert (t=10mm)
Case 4		120 mm above the culvert		Case 18	————— (loose)	
Case 5		just on the culvert	Case 19	————— (dense)		
Case 6		35 mm above the culvert	Case 20	just on the culvert (loose)		
Case 7		120 mm above the culvert	Case 21	just on the culvert (dense)		
Case 8	66mm above the bottom of container	—————	160	Case 22	rain seepage	—————
Case 9		bottom of container	160	Case 23	(wet sand)	just on the culvert
Case 10		25mm under the culvert	160	Case 24	material (clay)	—————
Case 11		just under the culvert	160			
Case 12		bottom of container	60			
Case 13		25mm under the culvert	60	Case 25		just on the culvert
Case 14		just under the culvert	60			

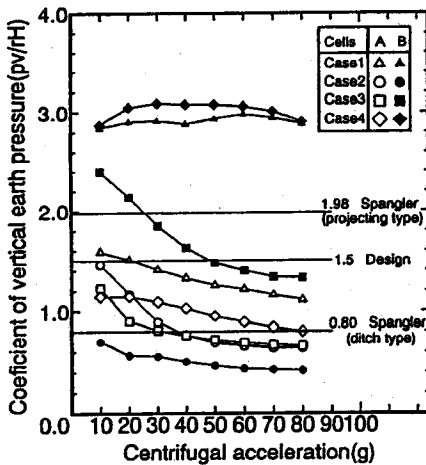


図-4 鉛直土圧係数と遠心加速度（上方敷設 160mm）

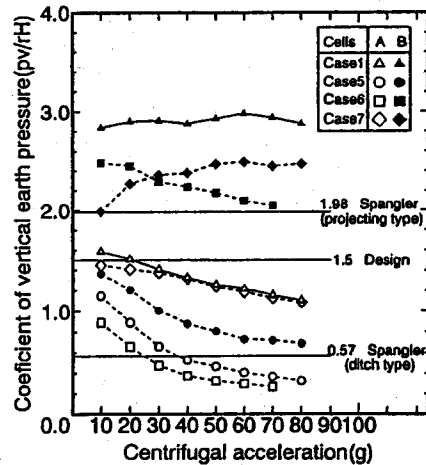


図-5 鉛直土圧係数と遠心加速度（上方敷設 60mm）

3. 実験結果と考察

(1) たわみ性材料敷設効果

図-4は、敷設幅が160mmにおける土圧計位置A（頂版中央）とB（頂版端部）の鉛直土圧の実測値 P_v を土被り圧で除した鉛直土圧係数 $(p_v/\gamma H)$ を遠心加速度に対して示したものである。これは設計要領の割り増し係数 α に相当するもので、設計要領では、 $H/B = 220/60 = 3.67$ より $\alpha = 1.5$ となる。また、マーストン・スパングラの理論式による値も図中に示した。

マーストン・スパングラの理論式は、

$$p_v = \pm \gamma B \frac{\exp(\pm 2K\mu H_e/B) - 1}{2K\mu} + \gamma(H - H_e) \exp(\pm 2K\mu H_e/B) \quad (1)$$

複号士の正号は突出型、負号は溝型に対応する。ここに、 p_v ：カルバート頂部に等分布する鉛直土圧、 γ ：埋戻土の単位体積重量、 B ：溝型では溝幅、突出型ではカルバートの幅、 H ：盛土高（カルバート頂部より地表面までの高さ）、 H_e ：カルバート頂部より等沈下面までの高さ、 μ ：相対変位面上の摩擦角を δ としたとき $\mu = \tan \delta$ 、 K ：土圧係数

なお、実験値と比較の理論式の計算では、溝型に対する設計用の $K\mu$ の概略値表を参考に、 $K\mu = 0.17$ を

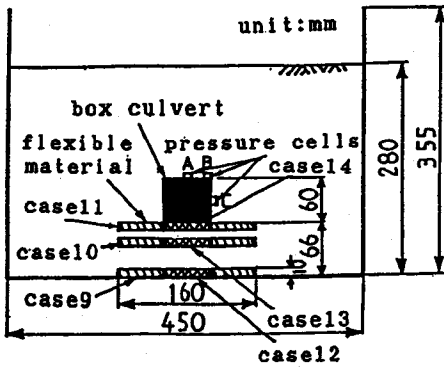


図-6 模型の作成状況（たわみ性材料下方敷設）

用いた。また、盛土内に等沈下面が存在しなかったので、カルバート頂部より等沈下面までの高さ（ H_0 ）は盛土高と等しくしている。

図-4で、ケース1のたわみ性材料を敷設していない状態では、土圧計位置A（頂版中央）よりB（頂版端部）の鉛直土圧が大きく、設計で用いられているように等分布ではない。これは、大型模型実験でも同様の報告がされている⁸⁾。たわみ性材料を敷設しても全ケースで、土圧計位置AよりBが大きいが、敷設により鉛直土圧はA、Bとも軽減されている。また、敷設位置がカルバートから離れるに従い軽減効果が小さくなる。

図-5は、敷設幅が60mmにおける鉛直土圧係数 α （ $p_v/\gamma H$ ）と遠心加速度の関係を示したものである。図-5の敷設幅が狭い場合は、図-4の敷設幅が広い場合より、敷設位置をカルバートから離れたケース6の頂版端部およびケース7の頂版中央で α が大きいが、他のケースは殆ど軽減効果は等しい。また、マーストン・スパングレーの理論式によれば、敷設幅が広がると載荷重（ $\gamma H \times$ 敷設幅）が大きくなることから、敷設幅が狭い方が有利となる。

図-6は、たわみ性材料を下方に敷設した場合の模型供試体の作成状況である。図-7および図-8は、鉛直土圧係数 α （ $p_v/\gamma H$ ）と遠心加速度の関係を示しており、図中には設計要領の値（ $\alpha = 1.35$ ）とマーストン・スパングレー式（理論式）も示している。

図-7は、たわみ性材料の敷設幅が160mmの場合である。ケース8では頂版中央（土圧計A）で $\alpha = 1.0$ 程度であるが、頂版端部（土圧計B）では $\alpha = 2.6 \sim 2.8$ 程度と設計値を大きく上回っている。たわみ性材料を敷設したケース9～ケース11では、鉛直土圧は土圧計A、Bとも $\alpha = 1.0$ 程度まで軽減されている。

同様に図-8は、たわみ性材料の幅が60mmの場合を示す。たわみ性材料を敷設することにより、鉛直土圧はケース12と13の頂版端部では、ほとんど軽減さ

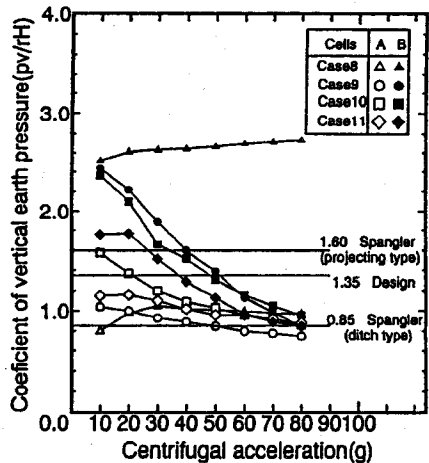


図-7 鉛直土圧係数と遠心加速度（下方敷設 160mm）

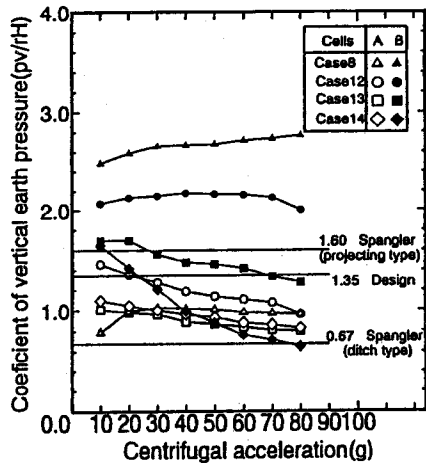


図-8 鉛直土圧係数と遠心加速度（下方敷設 60mm）

れていないが、その他は土圧計A、Bとも $\alpha = 1.0$ 程度まで軽減されている。

すなわち、図-7と図-8より、たわみ性材料の敷設幅が狭くても、カルバートからたわみ性材料を離して敷設する場合以外は、敷設幅が広い場合と同様の軽減効果がみられることがわかる。

(2) 沈下状況

図-9に、沈下状況の比較図を示す。図のケース16は厚さ5mmのたわみ性材料をカルバート両側に敷設しており、ケース17はそれに加えカルバート直上に10mmのたわみ性材料を敷設している。他のケースでは、実験における沈下量が小さく明確でなかったため、比較的異なる沈下量の大きい場合を示した。なお、沈下量のスケールは状況をわかりやすくするため2倍で表示している。

図より、カルバート直上での沈下が、その両側の沈

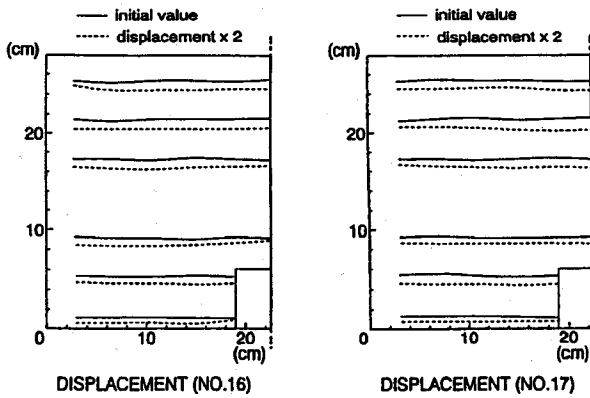


図-9 沈下状況の比較

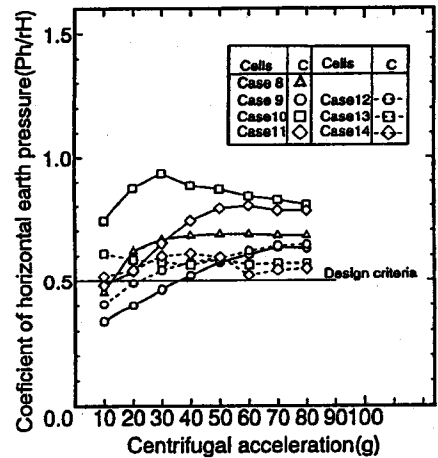


図-11 水平土圧係数と遠心加速度（下方敷設）

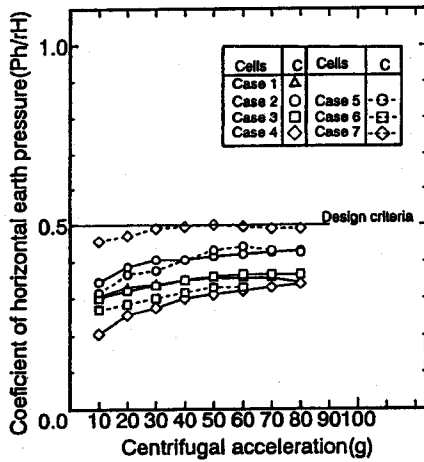


図-10 水平土圧係数と遠心加速度（上方敷設）

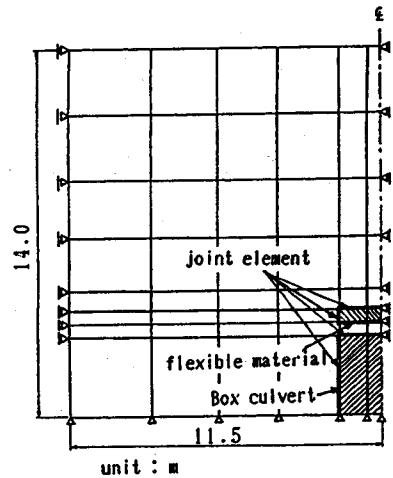


図-12 FEM解析モデル

下より小さかったものが、カルバート直上へのたわみ性材料の敷設により、変位はたわみ性材料上部に集中し、これにより上記の鉛直土圧の軽減が行われていることがわかる。

(3) 水平土圧係数について

図-10は、たわみ性材料を上方に敷設した場合の土圧計位置Cの水平土圧 p_h を土被り圧 γH で割った水平土圧係数 $(p_h/\gamma H)$ と遠心加速度の関係を示したものである。設計値は道路土工指針と標準設計で用いられている $k_0 = 0.5$ の安全側の値を示した。水平土圧係数は、遠心加速度の増加により多少増加するものの、全ケースとも0.5以下であり設計値内に納まっている。

図-11に、たわみ性材料を下方に敷設した場合の水平土圧係数 $(p_h/\gamma H)$ と遠心加速度の関係を示す。水平土圧係数は全ケースとも、たわみ性材料が圧縮した段階で設計値を上回り0.5~0.8程度となった。

4. 有限要素解析との比較

(1) 解析モデル

FEM解析は二次元平面ひずみ問題として、遠心載荷実験の50g場(g :重力加速度)を想定し、実験の模型寸法の50倍とした。たわみ性材料敷設の有無による2ケース(ケース1, ケース5)について行った。解析手法は、著者らが擁壁解析に用いたもの⁹⁾と同様で、モール・クーロンの破壊規準を塑性関数とする関連流れ則より導いた構成式を用い、カルバートと盛土およびたわみ性材料の不連続性をGoodmanらのジョイント要素で考慮した。

図-12に解析モデルを示す。8節点アイソパラメトリック要素を用い、初期応力は等価接点力で与えた。解析モデルの左右の境界条件は水平方向に固定、鉛直方向に可動とし、下端の境界は、水平、鉛直とも固定とした。盛土地盤を弾塑性体と考え弾塑性解析を行う。解

表-2 実験と解析の比較

Flexible material	CELL No.	Experiment	FEM
NONE	A	20.45	20.37
	B	47.42	21.00
	C	5.75	11.52
SET (Reduce value)	A	-12.88	-16.22
	B	-34.30	-18.82
	C	-1.17	+1.02

析手法は接線コウ配法の直接増分法による。

解析に用いた構成モデルは、モール・クーロンの破壊基準を降伏関数として式(2)が塑性ポテンシャル関数の役割を果たすという関連流れ則を用いた。

$$f = q - d + p \tan \alpha = 0 \quad (2)$$

ここに、 $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$, $p = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$, $d = c \cos \phi$, $\tan \alpha = \sin \phi$, C : 粘着力, ϕ : 内部摩擦角, σ_1 : 最大主応力, σ_3 : 最小主応力

(2) 材料定数

材料定数は実験模型の材料の値を採用し、カルバートは、単位体積重量 $\gamma = 2.69 \text{tf/m}^3 (26.36 \text{KN/m}^3)$, 弾性係数 $E = 7.0 \times 10^5 \text{tf/m}^2 (68.6 \text{GPa})$, ポアソン比 $\nu = 0.3$, 砂地盤は、単位体積重量 $\gamma = 1.50 \text{tf/m}^3 (14.70 \text{KN/m}^3)$, 変形係数 $E = 1000 \text{tf/m}^2 (9.8 \text{MPa})$, ポアソン比 $\nu = 0.4$, たわみ性材料は、単位体積重量 $\gamma = 0.03 \text{tf/m}^3 (0.29 \text{KN/m}^3)$, 弾性係数 $E = 10 \text{tf/m}^2 (98 \text{KPa})$, ポアソン比 $\nu = 0.4$ を用いた。カルバートと盛土、たわみ性材料と盛土のジョイント剛性は鉛直方向では $K_s = 3.0 \text{tf/m}^2 (29.4 \text{KPa})$, $K_n = 3.0 \times 10^5 \text{tf/m}^2 (2.94 \text{GPa})$, 水平方向では $K_s = 3.0 \times 10^5 \text{tf/m}^2 (2.94 \text{GPa})$, $K_n = 6.0 \times 10^5 \text{tf/m}^2 (5.88 \text{GPa})$, とした。

(3) 解析値と実験値の比較

たわみ性材料敷設の有無による2ケースについて、解析による値と遠心載荷実験による50g(ケース1, ケース5)の比較を行った。変位の解析結果を図-13, 図-14に示す。沈下量はわかりやすくするためスケールを10倍で表示している。両図より、カルバート両側の沈下がカルバート上より大きかったものが、たわみ性材料の敷設によりカルバート上で大きくなっており、実験と同様の傾向が見られる。なお、解析には弾塑性解析を用いたが、実際には変形が小さく弾性解析とほとんど同様の結果となった。

応力の比較結果を表-2に示す。たわみ性材料敷設前の応力値は、頂版端部および側版中央では少し異なるが、頂版中央ではよく一致している。たわみ性材料を

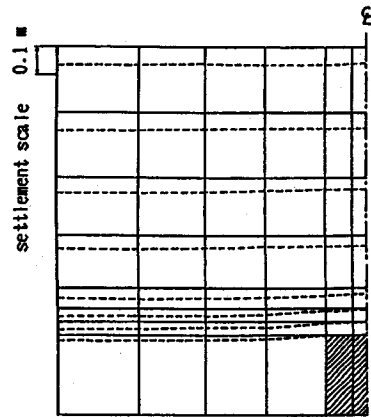


図-13 変位図(たわみ性材料なし)

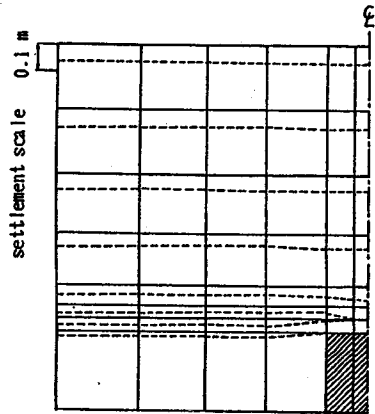


図-14 変位図(たわみ性材料敷設)

敷設した場合の応力値の軽減量は、頂版端部で実験値が少し大きい、ほぼ同様の軽減効果がみられる。実験値と解析値の結果に相違がみられる理由は、解析に用いたポアソン比の値が実験モデルの値と異なるためと推定される。

FEM解析結果および実験結果からみると、たわみ性材料敷設により地盤内の変位がたわみ性材料上部に集中し、上部にアーチ作用が発生して、その上部の鉛直荷重が分散されることにより鉛直土圧の軽減が図られていると考えられる。この結果は、粒状材料による光弾性実験によっても明らかにされている^{10),11)}。

5. 各要因の検討

3章のたわみ性材料敷設による土圧軽減効果の検討から以下のことが明らかとなった。

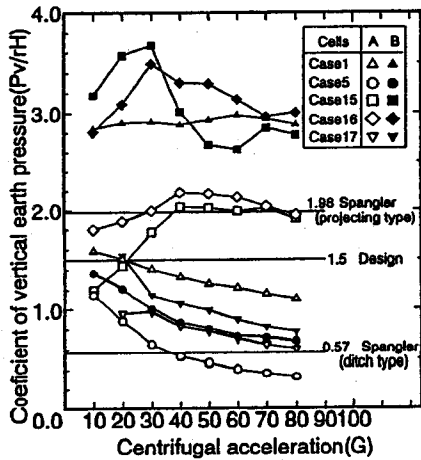


図-15 鉛直土圧係数と遠心加速度（不同沈下）

- (a) たわみ性材料はカルバート上方敷設，下方敷設とも鉛直土圧の軽減効果がある。
- (b) たわみ性材料の敷設位置がカルバート近くであれば，敷設幅の影響はほとんど見られなかった。
- (c) 水平土圧は，下方敷設の場合に設計値を上回る。

以上より，たわみ性材料をカルバート上方にカルバート幅程度で敷設する場合（ケース 5）が最も効果的であるので，以下は，この場合を対象に各パラメータを検討した（表-1 参照）。

(1) 不同沈下量の影響

カルバート上部とその両サイドに生ずる不同沈下の影響をみる実験は，表-1 に示したケース 15 ~ 17 である。実験ケース 15, 16 は，カルバートの両サイドに厚さ 10 mm, 5mm のたわみ性材料をそれぞれ敷設し，ケース 17 はケース 16 に加えてカルバート直上に 10 mm 厚のたわみ性材料を敷設した場合である。

図-15 に鉛直土圧の軽減効果を示す。カルバート上にたわみ性材料を敷設していないケース（ケース 1, 15, 16）の比較では，不同沈下量が大きくなると，頂版中央で鉛直土圧が大きくなるが頂版端部では変化がみられない。カルバート上にたわみ性材料を敷設したケース（ケース 5, 17）の比較より，土圧の軽減傾向は同様であるがその効果はケース 5 が大きく，カルバート直上と両サイドでの不同沈下量に依存していることがわかる。

(2) 密度による影響

実験ケース 18 ~ 21 は，密度の相違による鉛直土圧の軽減効果の影響を検討したもので，実験ケース 18（緩詰め： $D_r = 35\%$ ）とケース 19（密詰め： $D_r = 64\%$ ）はたわみ性材料を敷設していない場合で，ケース 20

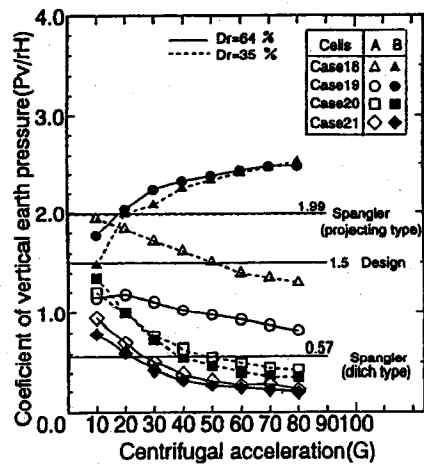


図-16 鉛直土圧係数と遠心加速度（密度）

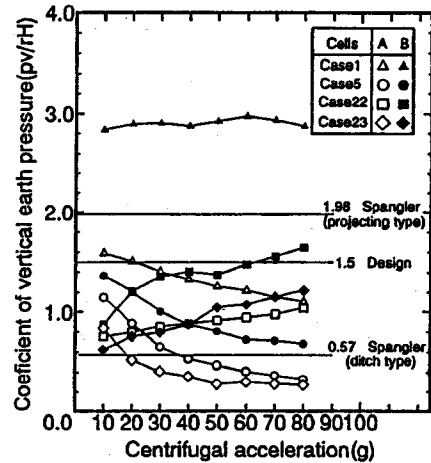


図-17 鉛直土圧係数と遠心加速度（含水比）

とケース 21 はカルバート頂版上に 10 mm のたわみ性材料を敷設した場合の緩詰めと密詰めをそれぞれ示す。

図-16に，鉛直土圧と遠心加速度の関係を示す。カルバート上にたわみ性材料を敷設していないケース（ケース 18, 19）では，緩詰めの場合 18 でカルバート頂版中央の鉛直土圧が大きいが，カルバート上にたわみ性材料を敷設すると（ケース 20, 21），密詰めの方やや小さくなっており軽減効果が高いことがわかる。

(3) 含水比の影響

雨水の浸透などにより盛土材の含水比が高くなることを考慮して，盛土材として含水比 $w=4\%$ の湿潤砂を用いた実験を行った。図-17 に鉛直土圧係数と遠心加速度の関係図を示す。実験ケース 22 とケース 23 は，湿潤砂を用いた実験で，ケース 1 とケース 5 の乾燥砂を用いた場合との比較を行った。

カルバート上にたわみ性材料を敷設しないケース 22

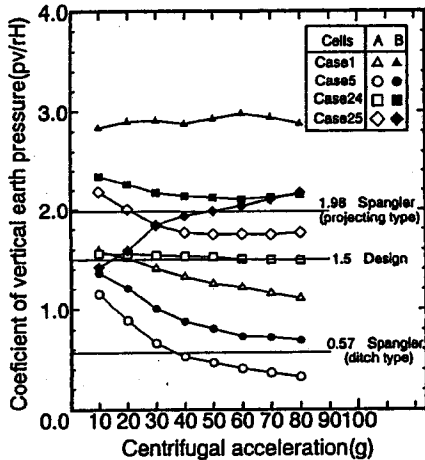


図-18 鉛直土圧係数と遠心加速度 (材料: 粘性土)

とケース 1 を比較すると、ケース 22 の湿潤砂が、カルバート頂版上の鉛直土圧係数はいずれも小さいが、たわみ性材料を敷設したケース 23 とケース 5 を比較すると殆ど等しい。すなわち、たわみ性材料の敷設効果に含水比の影響はほとんどないと考えられる。

(4) 盛土材による影響

盛土材の材料の影響を検討するため、盛土材に粘性土(笠岡粘土)を用いた実験を行った。気乾状態($w=5.3\%$)の粘性土を用い、模型の作成は標準砂の場合と同様に行った。そのときの密度は、 $\gamma = 0.98 \sim 1.03 \text{ tf/m}^3 (9.6 \sim 10.1 \text{ kN/m}^3)$ であった。

図-18 に鉛直土圧係数と遠心加速度の関係図を示す。実験ケース 24 とケース 25 は粘土を用いた実験で、ケース 1 とケース 5 の乾燥砂を用いた場合との比較を行った。

カルバート上にたわみ性材料を敷設しないケース 24 とケース 1 を比較すると、カルバート頂版上の鉛直土圧係数は、粘性土では頂版中央で砂質土より大きいのが頂版端部で小さく、砂質土と異なり等分布に近い。たわみ性材料を敷設したケース 25 とケース 5 を比較すると、粘性土では鉛直土圧は軽減されていない。すなわち、盛土材は砂質土が適していることがわかる。

(5) 水平土圧係数について

図-19 に、本章で実施した全ての実験の水平土圧係数($p_h/\gamma H$)と遠心加速度の関係を示す。水平土圧係数は、全ケースとも 0.5 以下であり設計値内に納まっている。特に、カルバート両側での相対沈下面の沈下が大きい場合に水平土圧係数は小さい。

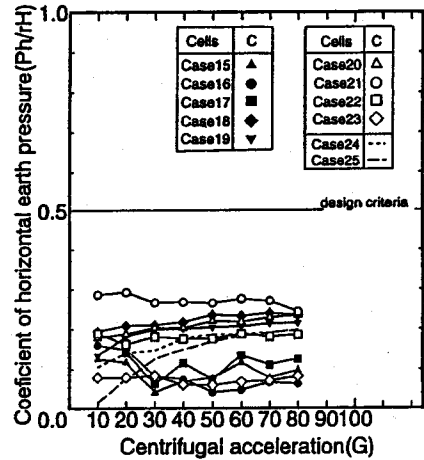


図-19 水平土圧係数と遠心加速度 (各要因)

6. まとめ

たわみ性材料敷設による剛性カルバートに作用する土圧軽減工法の遠心模型実験を行い軽減効果を調べた。その結果をまとめると以下のようである。

- (a) 突出型のボックスカルバートに作用する鉛直土圧は、設計値や理論値より大きく、特に頂版端部で大きいのが、たわみ性材料の敷設により土かぶり圧以下に軽減することができる。
- (b) 軽減効果は総合的に判断すると、たわみ性材料をカルバート上方にカルバート幅程度で敷設する場合が最も効果的であった。
- (c) 実験結果および FEM 解析結果から、たわみ性材料敷設による鉛直土圧の軽減のメカニズムは、本研究の変形範囲ではアーチ説に基づくことが明らかとなった。
- (d) 各要因の検討より、鉛直土圧の軽減効果はカルバートとその周辺の下沈量に依存するが、密度や含水比の影響は小さく、粘性土を盛土材に使用すると効果はみられないことが明らかとなった。また、いずれの場合も水平土圧は設計値以下であった。

参考文献

- 1) 東田淳, 三笠正人: 遠心力模型実験による剛性埋設管の土圧の検討, 土木学会論文集, 第 376 号 / III-6, pp.171-180, 1986.
- 2) 佐藤嘉平, 岩崎洋一郎: 高盛土下の剛性カルバートに作用する鉛直土圧の軽減工法について, 土と基礎, No. 1270/29-12, pp.3-7, 1981
- 3) 島田忠則: 剛性のパイプカルバートに作用する鉛直土圧の軽減工法, 土と基礎, 報文-2236, pp.29-34, 1993
- 4) 松田哲夫, 前田良文, 五瀬伸吾, 鞆飼恵三: ボックスカルバートの土圧軽減に関する模型実験と解析, 土と基礎, 報文-2330, pp.17-22, 1994
- 5) 村山朗郎, 松岡元: 砂質土中のトンネル土圧に関する基

- 礎的研究, 土木学会論文集, 第 187 号, pp.95-108, 1971.
- 6) 岡林宏二郎, 大谷亘, 山本準, 秋山幸二郎: ボックスカルバートに作用する土圧の軽減法について— 遠心力模型実験の場合 —, 第 27 回土質工学研究発表会講演集, 土質工学会, pp.1821-1822, 1992.
 - 7) 岡林宏二郎, 大谷亘, 秋山幸二郎, 河邑眞: 「たわみ性材料」敷設によるカルバートに作用する土圧軽減法の遠心力模型実験, 第 28 回土質工学研究発表会講演集, 土質工学会, pp.2061-2064, 1993.
 - 8) Abhijit, D. and Bratish, S.: Large-Scale Model Test on Square Box Culvert Backfilled with Sand, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.117, pp.156-161, 1991.
 - 9) 岡林宏二郎, 河邑眞, 吉田泰治: もたれ式擁壁の変位モードを考慮した弾塑性 FEM 解析, 第 26 回土質工学研究発表会講演集, 土質工学会, pp.1585-1586, 1991.
 - 10) 大谷亘, 岡林宏二郎, 吉田泰治, 秋山幸二郎: 光弾性実験によるカルバートに作用する鉛直土圧の軽減法について— 正突出型の場合 (1) —, 高知工業高等専門学校学術紀要, 第 32 号, pp.39-46, 1990.
 - 11) 大谷亘, 秋山幸二郎, 岡林宏二郎: 光弾性実験によるカルバートに作用する鉛直土圧の軽減法について (5. たわみ性材料の幅を短くした場合), 高知工業高等専門学校学術紀要, 第 38 号, pp.81-86, 1994.

(1994. 9. 5 受付)

CENTRIFUGAL MODEL TEST FOR REDUCING THE EARTH PRESSURE ON THE RIGID CULVERT

Kojiro OKABAYASHI, Makoto KAWAMURA, Wataru OHTANI and Kojiro AKIYAMA

Series of centrifugal model tests for rigid box culverts were carried out to investigate the effect of laying flexible materials for reducing the vertical earth pressures acting on the culvert.

The optimum position of installed flexible material to reduce the vertical earth pressure were studied comparing the experimental results with the values of design criteria, Marston-Spangler theory and FEM analysis.

After selecting the best position of installed flexible material, the influence of the other factors such as differential settlements, water content, fill material, for the reduction of the earth pressure, was examined by the another series of centrifugal model tests for a rigid culvert.