

圧縮材を用いた鉛直土圧軽減化工法設計法の検討

田村 恵²・本郷隆夫²・福田光治¹・長屋淳一²・松山裕幸³

筆者らはこれまでジオシンセティックス材料であるEPS圧縮材を頭部に敷設した時のボックスカルバートを対象にして提案した鉛直土圧係数簡易推定式を中心に、FEM解析結果などと比較しながら鉛直土圧軽減化工法の効果を検討してきた。本論文では、これらの研究成果を整理する目的を兼ねて、圧縮材による鉛直土圧軽減化工法の設計手法について検討した結果を示す。そして設計では安全率が必要であり、その安全率を左右する因子として、盛土材と圧縮材の降伏応力、圧縮材の許容ひずみ、カルバート頂版上における圧縮材の圧縮ひずみ分布等があげられることを示す。しかし、本研究は解析的な研究の域に留まっているため実務的なデータの蓄積が必要である。

キーワード：ボックスカルバート、圧縮材、土圧軽減、鉛直土圧係数

1. はじめに

ボックスカルバートを対象に、ジオシンセティックス材料である EPS 圧縮材を用いた鉛直土圧軽減化工法を解析的に検討してきた。この結果、簡易推定式の提案、局所的鉛直土圧分布の対応方法、埋設管作用土圧への適用結果等を発表してきた^{1)~8)}。本論文では、一連の研究結果を総括し今後の研究の方向性を探るために、設計手法について検討した結果を示す。設計手法の中で重要な項目は工法の安全率である。この安全率の構成要因として種々の因子が考えられるが、本研究では圧縮材の圧縮ひずみ及びその分布の評価について検討する。

2. 簡易推定式と FEM 解析結果の比較

図-1 をモデルとして鉛直土圧の概略的な軽減効果を評価するために、式 (1) を提案してきた⁸⁾。この式からもわかるように鉛直土圧係数 α には、カルバートの幅や圧縮材の特性だけではなく、盛土材の圧縮性も必要であることを示している。このため表-1に示すように、簡易推定式に用いる土質分類と変形係数等のパラメータも提案した¹⁾。また簡易推定式の適用性を調べるために FEM 解析 (DACSAR) を実施してきた。

$$\alpha = \frac{\frac{1}{m_{vs}} + 4 \cdot G \cdot \frac{D}{B}}{\frac{1}{m_{vs}} + 2 \cdot G \cdot \frac{m_{ve}}{m_{vs}} \cdot \frac{T}{B} + 2 \cdot G \cdot \frac{D}{B}} \quad (1)$$

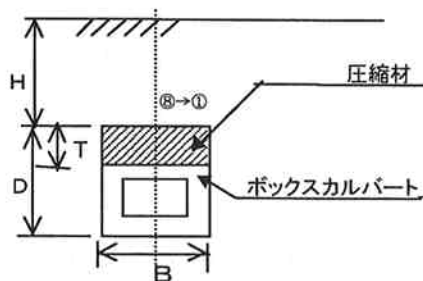


図-1 解析モデル

ここに、 α ：鉛直土圧係数、 T ：圧縮材の厚さ、 B 、 D ：ボックスカルバートの幅と高さ、 G ：盛土材のせん断弾性係数、 m_{ve} 、 m_{vs} ：圧縮材と盛土の体積圧縮係数である。

しかし、これまでの研究では、解析ケースに限ら

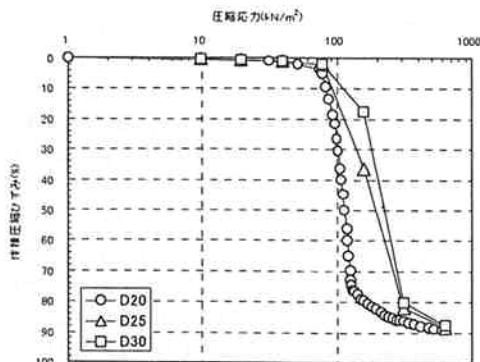


図-2 EPS の変形特性

¹正会員，財団法人地域地盤環境研究所，技術コンサルタント部（〒551-0012 大阪市西区立売堀 4-3-2）

²財団法人地域地盤環境研究所，技術コンサルタント部（〒551-0012 大阪市西区立売堀 4-3-2）

³日本道路公団，試験研究所土工研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

表-1 土質分類と変形係数等の推定⁸⁾

統一分類法	AASHTO	概略的 粒度評価値 dc (mm)	Casagrande		統一分類表 地盤係数K (MN/m ²)		推定値E				概略値		
			CBR		(Upper)	(Lower)	CBRから (MN/m ²)	K30から (MN/m ²)	E (MN/m ²)	G (MN/m ²)	mv (m ² /MN)		
			(Upper)	(Lower)									
GW	A-3	1		50		81.4		98.10		1.4E+01	98.1	37.7	1.0E-02
GC	A-1	0.1		40		81.4		78.48		1.4E+01	78.5	30.2	1.3E-02
GP	A-3	1	60	25		81.4	117.72	49.05		1.4E+01	49.1	18.9	2.0E-02
GF	A-2	0.01		20	81.4	54.0		39.24	1.4E+01	9.6E+00	14.4	5.5	6.9E-02
SW	A-3	0.1	60	20	81.4	54.0	117.72	39.24	1.4E+01	9.6E+00	14.4	5.5	6.94E-02
SC	A-1	0.01	60	20	81.4	54.0	117.72	39.24	1.4E+01	9.6E+00	14.4	5.5	6.9E-02
SP	A-3	0.01	30	10	81.4	54.0	58.86	19.62	1.4E+01	9.6E+00	14.4	5.5	6.9E-02
SF	A-2	0.001	30	8	81.4	54.0	58.86	15.70	1.4E+01	9.6E+00	14.4	5.5	6.9E-02
ML	A-4	0.001	25	6	81.4	54.0	49.05	11.77	1.4E+01	9.6E+00	14.4	5.5	6.9E-02
CL	A-4.7	0.0001	15	4	81.4	54.0	29.43	7.85	1.4E+01	9.6E+00	14.4	5.5	6.9E-02
OL	A-4.7	0.0001	8	3	54.0	27.5	15.70	5.89	9.6E+00	4.9E+00	9.6	3.7	1.0E-01
MH	A-5	0.001	7		54.0	27.5	13.73		9.6E+00	4.9E+00	9.6	3.7	1.0E-01
CH	A-6.7	0.0001	6		27.5	13.7	11.77		4.9E+00	2.4E+00	4.9	1.9	2.1E-01
OH	A-7.8	0.0001	4		27.5	13.7	7.85		4.9E+00	2.4E+00	4.9	1.9	2.1E-01

表-2 FEM 解析ケース

解析結果	パラメータ
ボックスカルバート幅 (m)	2, 5, 7
土被厚さ (m)	2, 5, 7, 20, 40, 60
圧縮材厚さ (m)	0.1, 0.2, 0.5, 1.2
圧縮材圧縮特性	EPS D20, 25, 30
盛土材圧縮特性	砂質土
載荷条件	段階盛土, 即時載荷

表-3 盛土材のパラメータ

土質分類 SW	圧縮 指数 λ	膨潤指 数 κ	先行 圧密荷重 p_c (kN/m ²)	破壊 応力比 M	ボア ソン 比 ν	初期 間隙比 e_0
盛土	0.2	0.015	1000	1.80	0.33	0.667

れていたため、設計手法を検討するにあたって今回改めて FEM 解析を行い、解析上の一般化をめざした。本論文で新たに検討したケースを表-2 に示す。同表にある様に、圧縮材としては 3 種類の EPS (D20, 25, 30) とした。それぞれの变形特性を図-2 に示す。盛土材については砂質土を考え、表-3 に示す土質に対応するパラメータを選定した。なお、ボックスカルバート上に圧縮材を敷設した鉛直土圧軽減化工法が適用される場合、段階的に盛土されるのが一般的なので、盛土材は十分締固められていくことを仮定し、過圧密領域の応力~ひずみ関係を考慮したものである。

また、アーチ効果の発生を確認するために、段階載荷及び即時載荷、落し戸状態を想定した解析を行った。図-3, 4 は段階載荷の解析結果からカルバート幅 7m, EPS は D20, D25, D30 で、圧縮材厚さ 50cm, 土被厚 2.7m (低盛土の土被り圧 51.3kN/m²) と 60.7m (高盛土の土被り圧 1153.5kN/m²) の極端なケースを示している。図中の横軸は EPS 要素の解析領域中心部からの距離を表し、図-1 の解析モデルで示し

た⑧→①の要素番号に対応する。図-3, 4 より、51.3kN/m² の土被り圧では、個々で用いた圧縮材の種類によらず、 $\alpha=0.6$ 程度を示している。しかし、土被り圧 1153.3kN/m² と大きくなると、圧縮材によってやや差が生じるが、鉛直土圧係数 $\alpha=0.9\sim1.0$ の間に増加している。

図-5, 6 は低盛土 (過圧密部)、高盛土 (正規圧密

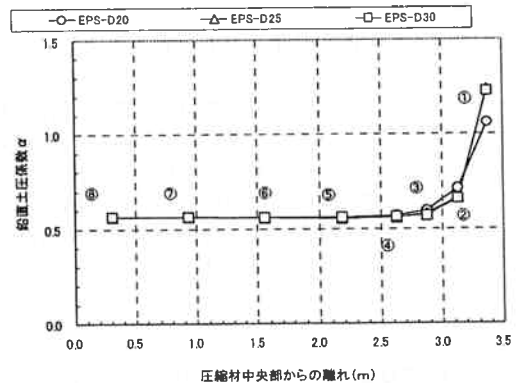


図-3 圧縮材の違いによる鉛直土圧係数 (土被り圧 51.3kN/m²)

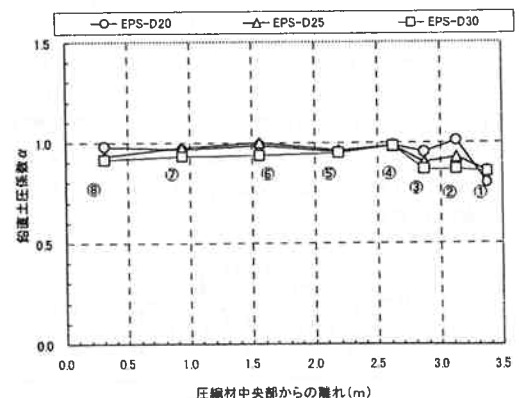
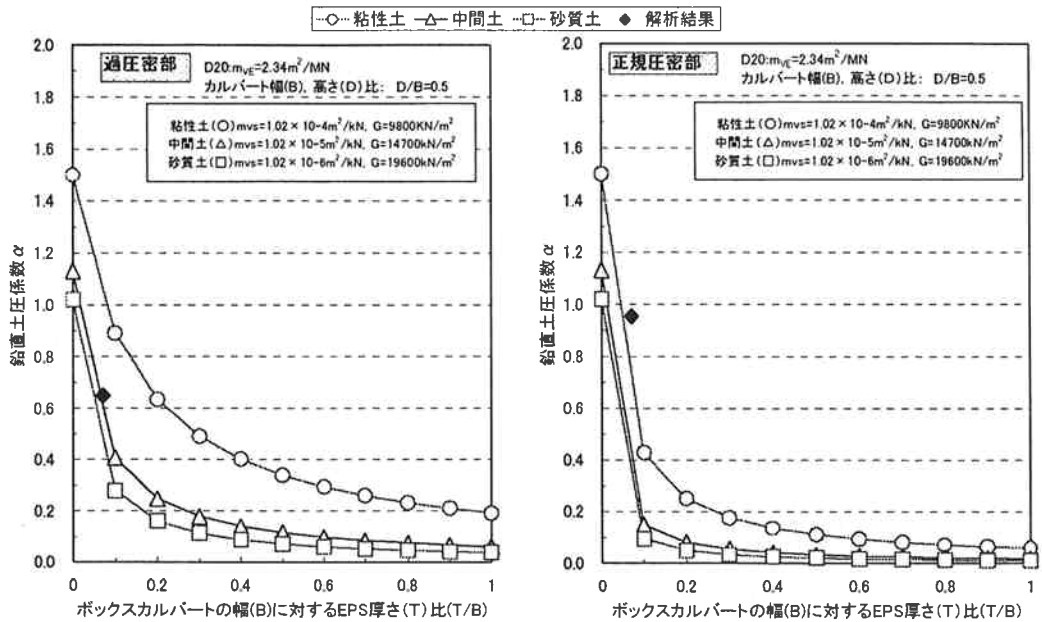


図-4 圧縮材の違いによる鉛直土圧係数 (土被り圧 1153.3kN/m²)



部)に分けて圧縮材の降伏応力を基準にした簡易推定式とFEM解析の解析結果を示したものである。

また,ここでは圧縮材としてEPSのD20をとりあげた。なお,FEM解析結果から求めた鉛直土圧係数は圧縮材に作用する平均土圧係数としている。

FEM解析パラメータの範囲では,ほぼFEM解析結果に対応しているが,低盛土の過圧密条件では,中間土の曲線に,高盛土の正規圧密条件では,粘性土の曲線上に,解析結果がある。このため,概略式を利用する場合,データの調整を行う必要があることも示している。

3. 設計手法の提案

本研究では,これまでの研究成果を総括して図-7に示す設計手法を提案し,それを適用する場合の問題点を分析する。図に示すように設計ではまず,盛土条件と盛土材を決定し,その後,目標とする土被り圧と鉛直土圧係数を与え,圧縮材作用土圧 P_1 を決める。次に圧縮材を選定し,土圧～ひずみ曲線から決まる圧縮材に作用する目標土圧 P_2 を算定する。 P_1 と P_2 を比較することにより, $P_1 > P_2$ であれば圧縮材の選定あるいは土圧条件の選定を変更しなければならない。 $P_1 < P_2$ になることが確認されると簡易推定式で圧縮材の必要厚さを求め,製品供給条件を考慮して最終的な評価が行われる。また,必要であればFEM解析で詳細な検討を実施する。この設計手法の中で問題になるのは土圧安全率と圧縮材のひずみ安全率の設定である。特に圧縮材のひず

み安全率の設定では,作用土圧～ひずみ関係だけでなく,圧縮材に作用する不均一土圧分布やクリープ

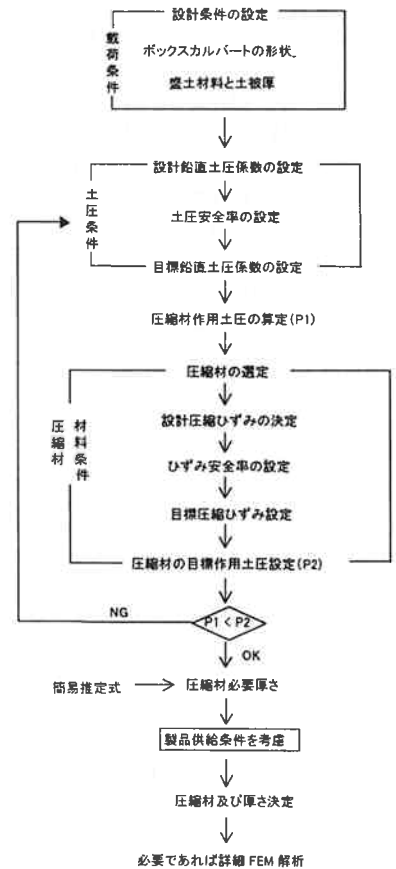


図-7 圧縮材の設計方法

特性等も関係してくることがこれまでの研究で明らかになっている。

4. 安全率の検討

図-7には以下の2つの安全率が含まれている。

- ① 土圧安全率
- ② ひずみ安全率

これらの安全率は、土質や施工方法にばらつきが生じたとしても、設定された設計鉛直土圧係数以下になることを満足するように設定されなければならない。前者については経験的に検討しなければならない面が強い。しかし、後者についてはこれまでの研究成果では局所的土圧か、平均土圧のいずれかの土圧に関する設計を行うかによって変わってくることを明らかにしている¹⁾²⁾。こうした背景と研究成果を踏まえてこの章では土質や圧縮材の変形特性のばらつきと鉛直土圧係数のばらつきの関係を調べる。

また、局所性と平均土圧に関しては次章で示す。

ひずみ安全率については圧縮材としてEPSを利用する場合、図-2に示されるように圧縮ひずみ80~90%がひとつの基準になる。そこで、図-2の圧力~ひずみの関係を図-8のようにモード化した。同図において、降伏応力 P_y 、ひずみ90%の硬化圧力 P_p として極限圧力を P_u とする。降伏応力は低圧力領域で、圧縮係数が急激に大きくなるレベル、硬化圧力 P_p は圧縮係数勾配が変化する開始点でひずみ80~90%の圧力に対応する。

式(1)により、鉛直土圧軽減効果は盛土材と圧縮材の圧縮性の比によって大きく影響されることが推定できる。このため、図-8の変形モードでは、土圧軽減効果は圧縮材への土圧が $P_p - P_y$ の間で発揮されなければならない。

ここでは作用土圧のばらつきから安全率を決める方法を述べることにする。今、圧縮材に作用する土被圧の安全率を F_s とすれば、圧力 P_a は $P_a = P_p \cdot F_s$ となる。この考えに従って、図-7から圧縮材の敷設効果を調べる方法を以下に示す。

- 1) 設計鉛直土圧係数を α とする。
- 2) 鉛直土圧係数の安全率を F_{se} とすれば、圧縮材の材料選定では $\alpha_0 = \alpha / F_{se}$ を満足しなければならない。
- 3) 設計土被圧を P_0 とすれば圧縮材に作用する土圧は $P = \alpha_0 \cdot P_0$ となる。
- 4) 一方、圧縮材の種類を決めると、それに対応する許容圧力 P_a が与えられる。このため、 $P_a \geq P$ になる必要がある。もし、これが実現できないのであれば材料の変更を考えなければならない。あるいは2)に戻り、 F_{se} を大きくすることによって α_0 をより小さく設定

することもできる。

- 5) 目標鉛直土圧係数 α_0 と材料が決まると簡易推定式(1)より試行的に圧縮材の厚さが決まる。しかし、この厚さは製品供給条件により見直しが図られる。
- 6) 圧縮材に作用する土圧 p と圧縮材の圧縮ひずみと厚さが決まると圧縮材の鉛直変位が得られるが、これらの変位は盛土過程で収束しなければならない。従って、この変位量に伴う余裕量を考慮して、1)から再度点検する。

以上の F_s は圧縮材の圧縮ひずみ~圧縮応力から、 F_{se} は土被り圧のばらつきから決まると考えられる。

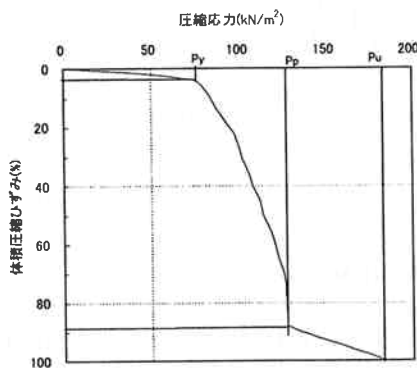


図-8 圧縮材の圧縮性

5. 局所土圧と平均土圧

図-9は圧縮材の厚さを50cmとした時の平均土圧と中央部の土圧の比較を示したものである。この関係は、局所的な土圧分布を問題にする場合に直接的に必要なが、上記に示した平均的な F_s , F_{se} に含ませて評価することも出来る。しかし、土圧分布は簡易推定式では求めることが出来ないの、FEM解析結果等により表現しなければならない。

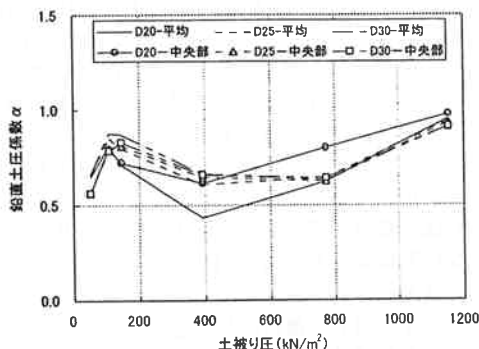


図-9 平均土被圧に対する中央の土圧の比較

6. あとがき

本論文では、ボックスカルバートを対象に圧縮材を用いた鉛直土圧軽減工法の設計手法を検討した結果を示した。この過程では2つの安全率を決める必要性を示したが、これには施工経験の蓄積、あるいは土質条件や圧縮材の変形特性と試験方法等が関係してくる。従って、実務的立場からの整理を行うことが必要であるが、こうした安全率に関する吟味も必要である。

参考文献)

- 1)本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 田村恵, 松山裕幸: カルバート直上圧縮材の土圧低減分布と平滑化, 第37回地盤工学会研究発表会講演概要集, pp.1535-1536, 2002.
- 2)本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 田村恵, 松山裕幸: 圧縮材を用いた鉛直土圧軽減化と土圧分布の均等化, 土木学会第56回年次学術講演会, CD-ROM(Ⅲ-153), 2002.
- 3)本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 田村恵, 松山裕幸: 鉛直土圧簡易推定式と検証, 第36回地盤工学会研究発表会講演概要集, pp.2005-2006, 2001.
- 4)田村恵, 本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 松山裕幸: 鉛直土圧簡易推定式と埋設管土圧, 土木学会第55回年次学術講演会, CD-ROM(Ⅲ-B273), 2001.
- 5)田村恵, 本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 松山裕幸: 鉛直土圧係数簡易推定式の適用条件, ジオシンセティックス論文集, Vol.16, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, pp.246-253, 2001.
- 6)本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 田村恵, 松山裕幸: EPS工法による鉛直土圧軽減の簡易推定法提案, 第35回地盤工学会研究発表会講演概要集, pp.2135-2136, 2000.
- 7)田村恵, 本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 松山裕幸: 鉛直土圧係数軽減工法と簡易推定式の適用, 土木学会第55回年次学術講演会, CD-ROM(Ⅲ-B273), 2000.
- 8)田村恵, 本郷隆夫, 福田光治, 長屋淳一, 松山裕幸: 鉛直土圧係数簡易推定法の提案と適用範囲, ジオシンセティックス論文集, Vol.15, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, pp.246-253, 2000.

APPLICABLE CONDITION OF SIMPLE EQUATION TO PREDICT COEFFICIENT OF VERTICAL EARTH PRESSURE ACTING ON BOX CULVERT

Megumi TAMURA, Takao HONGO, Mitsuharu FUKUDA, Junichi NAGAYA and Hiroyuki MATSUYAMA

We proposed the simple equation in the past to predict a coefficient of vertical earth pressure acting on a box culvert with compressible material installed on its top. This material is aimed to install to reduce the earth pressure acting on the box culvert. Although the simple equation was derived under the simple hypothesis, it was proved to give a reasonable value. On this study, range of applicability and acceptability of this equation is targeted to investigate using data in public shown in the references and FEM analysis. Furthermore, this equation is extended out of limitation to predict earth pressure acting on pipe culvert through a flexibility factor as indicator representing deformability of pipe.