

地下大断面コルゲートカルバートの模型振動 実験と解析

岩楯徹広¹ 西村和夫¹ 木村秀成² 青木茂男³ 石原哲哉⁴ コルゲートライナー技術協会⁵

¹正会員 東京都立大学大学院 工学研究科 教授 (〒192-0397 八王子市南大沢1-1)

²東京都立大学大学院 修士課程1年, ³北斗理研(〒189-0026 東村山市多摩湖町1-25-2)

⁴日本国土開発技術研究所(〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛甲町中津4036-1),

⁵(〒135-0042 東京都江東区木場2-17-12)

コルゲートライナー技術協会では、大断面コルゲートカルバートの日本への導入、道路トンネルへの適用を図るため、委員会を組織し、耐震性安定性に関し、模型振動実験・解析、現場実験などを実施し検討を進めてきた。本報告は、せん断土槽を用いた模型振動実験により大地震入力に対する応答特性、構造物ひずみ、動土圧について検討した結果であり、阪神・淡路大震災相当の地震入力に対して、コルゲートカルバートに生ずるひずみ、作用する動土圧は、土被りによる初期ひずみ、初期土圧相当であり、構造物は破壊に至っていないことを確認した。

Key Words: Large span corrugated Steel Culvert, Hashinawaji Earthquake, Shaking Table Test, Dynamic Earthpressure Seismic Response Characteristics

1. はじめに

コルゲートスーパースパンは、約30年前アメリカで開発され、現在、上下水道、道路トンネルなど多くの実績がある。しかし、日本に適用するためには、耐震性安定性評価など、技術上、克服すべき多くの問題がある。このため、コルゲートライナー技術協会では、技術委員会を組織し、阪神・淡路相当の地震に対して安全であるかどうかを模型振動実験と解析および現場試験などにより検討を進めてきた。

南部地震相当の地震入力に対して、対象構造物が安全であるかどうかを明らかにし、実用化のための基礎資料を得ることを目的としている(写真1)。本報告では、主として、模型振動実験結果について述べる。

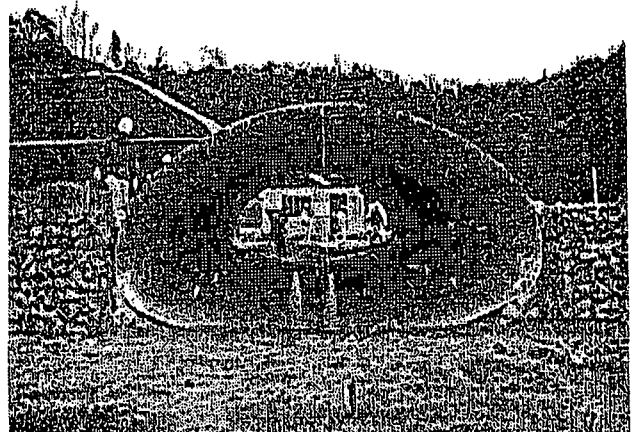


写真1 大断面コルゲートカルバート工

2. 目的

本研究は、せん断土槽を用いた模型振動実験と解析により大断面コルゲートカルバートの大地震時の挙動、構造物に生じるひずみ、構造物に作用する動土圧などを明らかにするとともに、兵庫県

3. 模型振動実験

(1) 模型地盤：乾燥砂を用いて、せん断土槽中に深さ1 mの2層構造地盤（基盤層と表層）を作成した。基盤層は厚さ20cmであり振動締固めにより作成した。基盤層に、実物の約1/15の構造物モデルを設置した後、砂を自由落下させて構造物を埋め戻し表層地盤を作成した。

(2) 構造物モデル：実物のコルゲートカルバートの約1/15の塩化ビニール製のモデル2種類を相似則を考慮して作成した。(a) Case-1 は、スラストビームがある場合（肩あり）であり、Case-2 は、スラストビームがない場合（肩なし）である。模型の寸法は、長軸長さ約65 cm、単軸の長さ約47.5 cmの楕円形に近い構造であり、板厚は、約2 mmで、頂部は変形を抑えるため板厚を増している。

(3) 観測計器と観測点の配置

図1に観測計器の配置を示す。地盤、構造物の加速度応答を計測するため、地盤の深さ方向に5点、また構造物に7点加速度計を配置した。構造物に作用する動土圧とせん断土圧を計測のため円周方向に土圧計（8点）を、頂部にせん断土圧計（4点）を配置した。また、構造物の曲げひずみ、軸ひずみを計測するため、構造物の内側、外側にひずみ

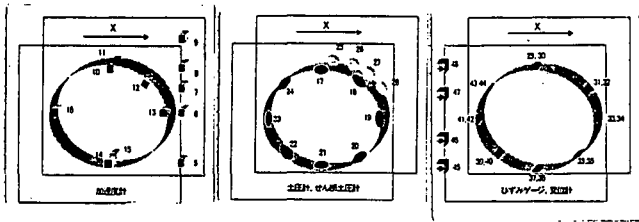


図1 計測計器の配置

加振No		加振内容	
ム ス ラ ス ト ビ ー	1	インパクト加振	50gal 2.5波
	2	地震波加振 JMA神戸 NS	時間スケール1/1、レベル100%
	3	インパクト加振	50gal 2.5波
	4	正弦波スイープ加振	2~30Hz、0.25Hz刻み、20gal 2~30Hz、0.25Hz刻み、200gal
ム ス ラ ナ シ ス ト ビ ー	1	インパクト加振	50gal 2.5波
	2	地震波加振 JMA神戸 NS	時間スケール1/1、レベル100%
	3	インパクト加振	50gal 2.5波
	4	正弦波スイープ加振	2~30Hz、0.25Hz刻み、20gal 3~18Hz、0.25Hz刻み、200gal

表1 試験項目一覧

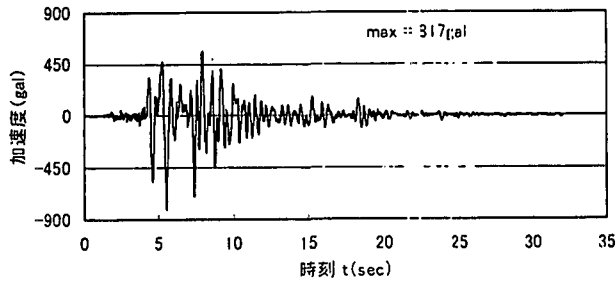
ゲージ（16点）を添付した。さらに、土槽の変形と地盤ひずみを評価するため土槽に変位計（5点）を配置した。なお、土圧計の設置位置は、Case-1とCase-2で若干異なるが、他の計器は同じである。

(4) 振動試験項目

表1に、実施した振動試験項目を示す。また、振動試験前の埋め戻し過程において、土圧およびひずみを計測し、初期土圧、初期ひずみを評価した。

(a) インパルス振動試験：モデル地盤の基本特性（固有振動数、減衰定数）、および非線形特性（G- γ 曲線、G- γ 曲線）を評価した。(b) 正弦波スイープ試験：入力レベルは、20gal, 50gal, 200gal, 400galの4種類であり、振動数範囲は、2Hz ~ 30Hzである。

(c) ランダム波入力試験：阪神・淡路大震災時に神戸気象台の観測波形（NS成分）を検討入力波とした（図2）。ただし、最大振幅は、100%（818gal）、50%（414gal）であり、また、相似則を考慮し、時間軸を1/15, 1/5, 1/1の3種類とした。各入力による構造物・地盤の応答、動土圧、ひずみを計測した。さらに、各試験終了後の地盤の地沈下、地盤密度の変化を計測した。



NS成分（時間軸1/1、振幅100%）

図2 検討入力波

4 試験結果

4-1 地盤物性の評価 (1) 地盤の密度：モデル地盤作成直後の地盤の初期密度は、上層で $\rho=1.36\text{gf/cm}^3$ 、下層で $\rho=1.6\text{gf/cm}^3$ となった。各試験終了後、地盤密度の変化を計測した結果、下層地盤には変化はないが、上層地盤には変化が生じ、最終的には $\rho=1.57\text{gf/cm}^3$ に増加した。(2) 地盤の非線形特性：インパルス試験や過去の試験結果から求めた G-

γ 曲線、 h - γ 曲線を図3に示す。

4-2 初期土圧と初期ひずみ

(1) 図 4-a,4-b に、肩ありモデル、肩なしモデルの初期土圧を示す。両者大きな差はない。構造物頂部、側面には、ほぼ土被りに相当する静止土圧が作用しているが、底面には、殆ど作用していない。

(2) 図 5-a,5-b に肩ありモデル、肩なしモデルの初期ひずみを示す。両者とも、左右両側面と底部で大きな曲げひずみが生じているが、軸ひずみは小さい。また、スラストビームの有無により分布形状に差が見られ、初期状態の変形にスラストビームが大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

4.3 正弦波入力による地盤構造物の応答特性

(1) 図 6 に、肩あり、肩なしモデルの 20gal,200gal 入力時の地盤、構造物の共振曲線を示す。地盤と構造物の応答特性に大きな差はなく、地盤、構造物は一体となって振動している。共振点(応答倍率)は、20gal で14Hz(5～6倍)、200gal で6Hz(1.5～2倍)となっており、モデル地盤には、かなり強い非線形性が現れている。また、肩あり、肩なしモデルの応答には、大きな差は見られない。(2) 図 7-a,7-b に、200gal 入力時の肩ありモデル、肩なしモデルの動土圧分布を示す。分布形状は、初期土圧と大きく異なっているが、その最大値は、50gf/cm²程度であり、初期土圧に比べてほぼ同程度である。特に、底部付近には、殆ど生じていない。肩ありモデルと肩なしモデルを比較すると、肩ありモデルでは、肩のスラストビームに大きな動土圧が作用しており、構造物本体に作用する動土圧は低減する傾向がある。

(3) 図 8-a,8-b に、肩ありモデル、肩なしモデルの 200gal 入力時の構造物のひずみ分布を示す。ひずみ大きさは、初期ひずみとほぼ同じ値となった。軸ひずみは、曲げひずみに比べてかなり小さい。曲げひずみの分布形状は、 $\theta = 45^\circ$ $\theta = 135^\circ$ 方向に長径を持つような楕円形状を示す。肩なしの場合、肩ありと比較すると若干大きい傾向がある。

4-4 ランダム波入力による地盤・構造物の応答特性

(1) 図 9-a,b,図 10-a,b に、神戸波入力時(振幅 100 %、

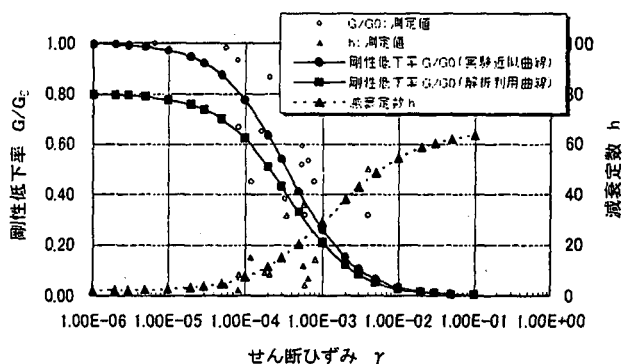
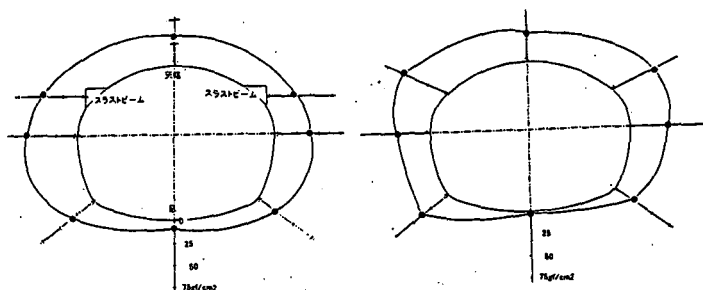
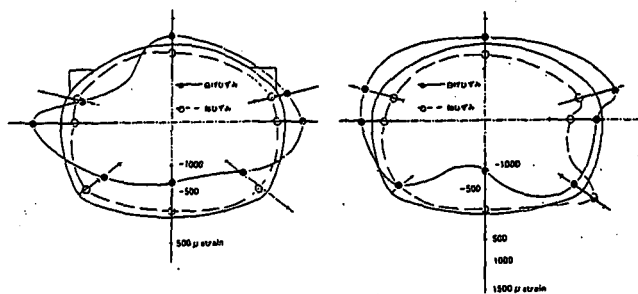


図3 地盤の非線形特性 (G - γ 曲線、 h - γ 曲線)



4-a 肩ありモデル 4-b 肩なしモデル

図4 初期土圧の分布



5-a 肩ありモデル 5-b 肩なしモデル

図5 初期ひずみの分布

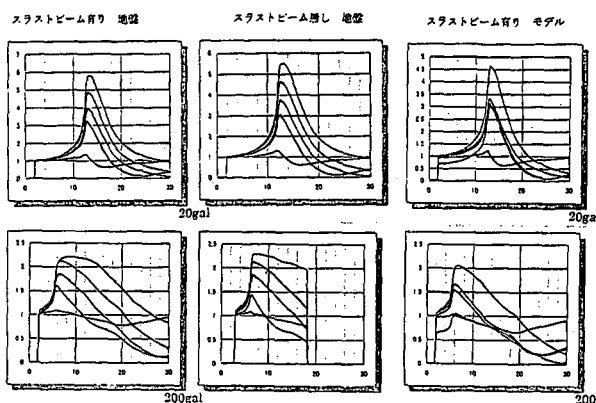


図6 共振曲線 (20gal, 200gal)

時間軸 1/15)の肩ありモデル、肩なしモデルに作用する動土圧分布,およびひずみの分布を比較して示す。動土圧は、左右側部 $\theta=0^\circ, 180^\circ$ で最大で、静止土圧相当の値を示すが、それ以外の断面では極めて小さい。一方、曲げひずみ分布を肩あり、肩なしで比較すると正弦波入力の場合と同様、 $\theta=45^\circ, 135^\circ, 275^\circ, 315^\circ$ の断面で大きな値を示した。また軸ひずみは、曲げひずみに比べてかなり小さい。

(2) 神戸波入力による地震時の動土圧、ひずみの値は、土被りによる初期土圧、ひずみと比較したが、

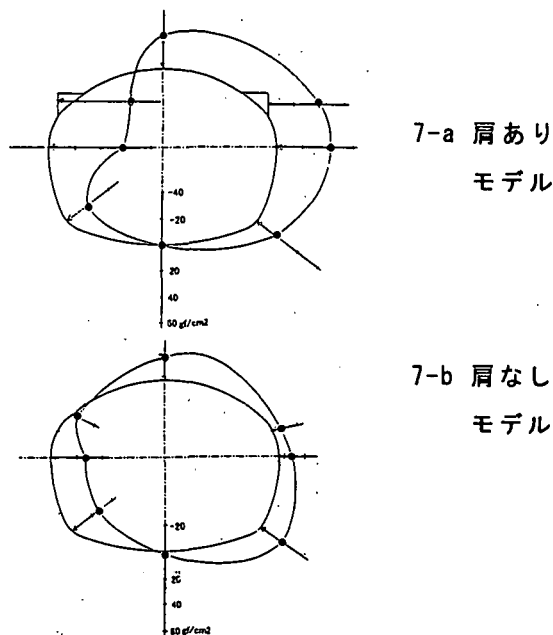


図7 正弦波入力による動土圧の分布 (200gal)

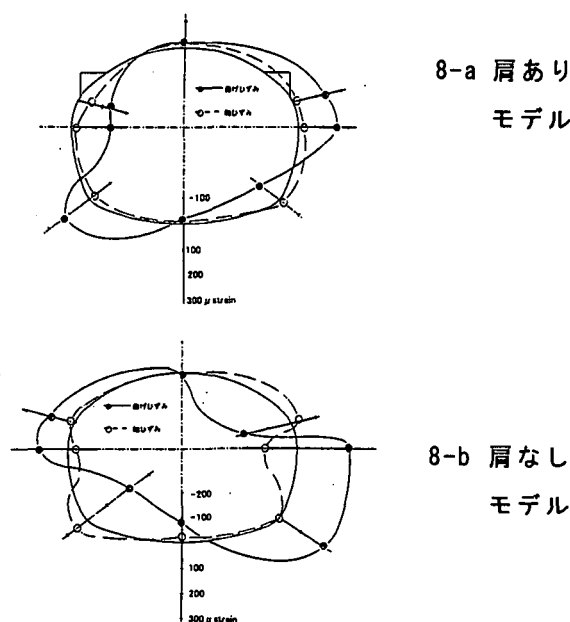


図8 正弦波入力によるひずみの分布 (200gal)

ほぼ同程度の値を示し、構造物も破壊に至らないことを確認した。

5. まとめ

以上の結果、阪神大震災相当の地震入力に対して、コルゲートカルバートに作用する動土圧および構造物ひずみは、初期土圧、初期ひずみ相当であり、構造物は破壊に至っていないことを確認した。今後、模型振動実験の数値シミュレーションを実施し、実験結果の妥当性を検証する予定である。

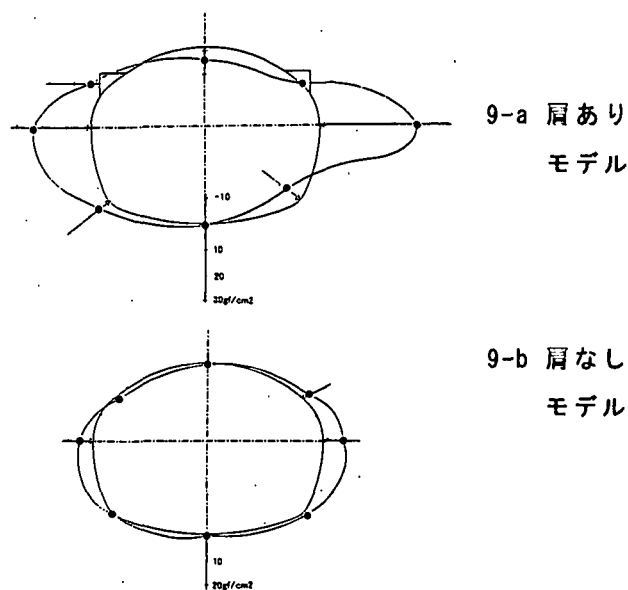


図9 神戸波による動土圧分布 (1/15, 100%)

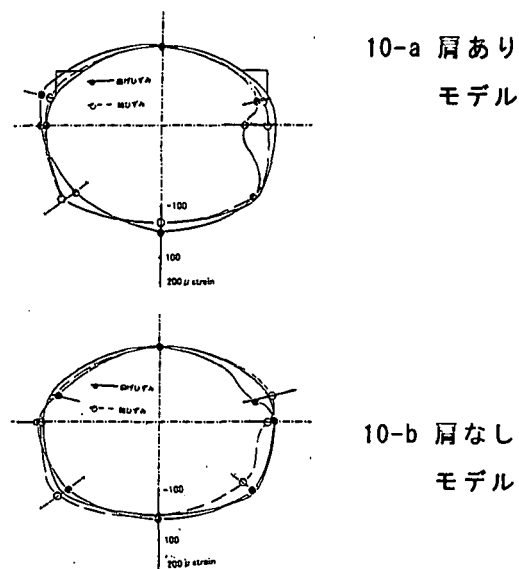


図10 神戸波によるひずみ分布 (1/15, 100%)