

動的・静的解析手法を用いた共同溝 横断方向の被災分析

高尾 聡秀¹・運上 茂樹²・大住 道生³

¹正会員 工修 建設省土木研究所 耐震研究室交流研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²正会員 工博 建設省土木研究所 耐震研究室室長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³正会員 工修 建設省土木研究所 耐震研究室研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

平成7年兵庫県南部地震では、全体としては地下構造物の被害は軽微であったが、地下鉄駅舎など過去にない甚大な被害を受けたものも見られた。本報告は、兵庫県南部地震によってひび割れ程度の損傷が発生した共同溝の横断方向を対象に被災分析を行った結果をまとめたものである。動的な時刻歴逐次応答解析法と静的なFEMによる応答震度法を用いて、横断方向の断面力、曲率の分布を求め、その解析結果は、概ね被災状況と対応していることを確認した。

Key Words : Common-utility box, Earthquake damage, Dynamic analysis, Static analysis, Nonlinear analysis

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震では、全体としては地下構造物の被害は軽微であったが、地下鉄駅舎など過去にない甚大な被害を受けたものも見られた。

地下構造物の一つである共同溝については、ひび割れ程度で大きな被害を受けたものはないが、地震によってひび割れ程度の軽微な損傷が発生した¹⁾。

本論では、共同溝の縦断方向に発生した軽微なひび割れの発生を解析的に表現するために、共同溝の横断方向を対象とした解析を行った。

解析手法としては、共同溝の非線形性を考慮した動的応答解析を用いた。加えて、簡易手法として位置付けられている静的なFEMによる応答震度法を用いた解析も行った。

本文では、動的応答解析法による被災判定結果とともに、簡易手法による解析結果と動的応答解析法を用いた解析結果との比較も併せて報告する。

2. 解析モデルおよび解析条件

解析の対象とした共同溝は、図-1に示す共同溝とした。共同溝の形状は、上層にE室とS室、下層にT

室とG室がある2層2径間である。共同溝の土かぶり厚は、2.95mであり、当該地盤の地層構成を図-2に示す。

共同溝の被害状況としては、共同溝の横断方向の変形に伴う共同溝縦断方向の軽微なひび割れがコーナー部周辺に生じており、一部区間の中壁と中床版の端部にかぶりコンクリートの部分的な剥離が認められた²⁾。

解析方法としては、動的な時刻歴逐次応答解析と静的なFEMによる応答震度法³⁾を用いた。

両手法共に、地盤を平面ひずみ要素、共同溝の壁、版部材を梁要素でモデル化した。また、地盤の境界条件は、底盤を固定、側方を水平ローラーとした。さらに、構造物の側方境界との離隔は、反射波の影響を少なくするために表層地盤厚さの3倍程度とした。図-3にFEMモデル図を示す。

本解析では、1次元動的解析によって地震時地盤物性値をあらかじめ求め、地盤を等価線形でモデル化した。

地盤のせん断弾性係数と減衰定数のひずみ依存特性は、沖積砂質土、洪積砂質土、砂礫に関しては文献3)、沖積粘性土に関しては文献4)、洪積粘性土に関しては文献5)の値を用いた。

動的な時刻歴逐次応答解析を行う際に考慮するモデル全体の減衰比を求める為に、図-3に示したFEM

モデルを用いて固有値解析を行った。表-1に固有値解析結果を示す。有効質量比は、1次モードが79%と卓越している事がわかる。

時刻歴逐次応答解析では、1次と13次のモード減衰をレイリー減衰として考慮した。図-4に構造物を有するFEMモデルの1次モードと13次モードを示す。

被災状況から、共同溝は、ひび割れを越える非線形領域に達しているので、ひび割れの発生及び鉄筋の降伏を考慮できる材料非線形モデル（トリリニア骨格曲線）を用いた。この時、コンクリートの終局ひずみ ϵ_{cu} を0.0035と仮定した。

動的な時刻歴逐次応答解析に用いた入力地震動を図-5に示す。入力地震動は、共同溝の横断方向に作用させるため、神戸ポートアイランドの工学的基盤（GL-83m）で観測された波形を基に、N-S方向及びE-W方向の加速度波形⁹⁾を共同溝の横断方向に合成して用いた。

静的なFEM解析である応答震度法で用いた地震時荷重は、図-5に示した入力地震動を用いて自由地盤の1次元動的解析を行い、共同溝位置での地盤のせん断ひずみが最大となる時刻の応答加速度から算出した慣性力を用いた。

図-6に、共同溝位置における、自然地盤の最大相対変位とその時刻の応答加速度を示す。

なお、解析の対象とした共同溝の両側には仮設時に築造されたSMW壁が残置されているが、解析ではこの影響を考慮していない。

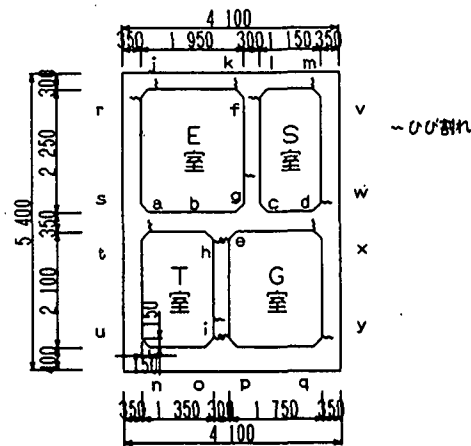


図-1 共同溝横断面図

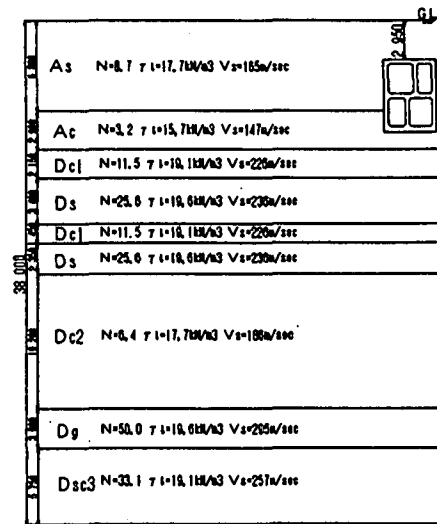


図-2 地層構成図

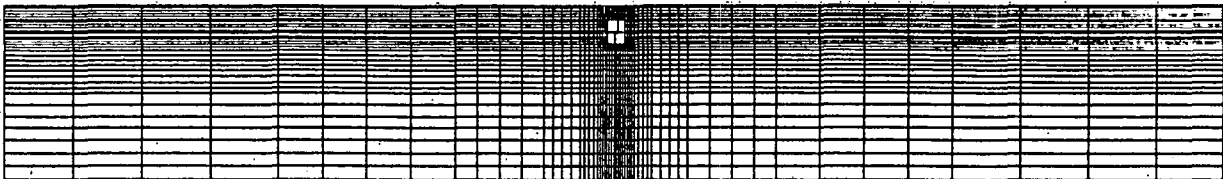
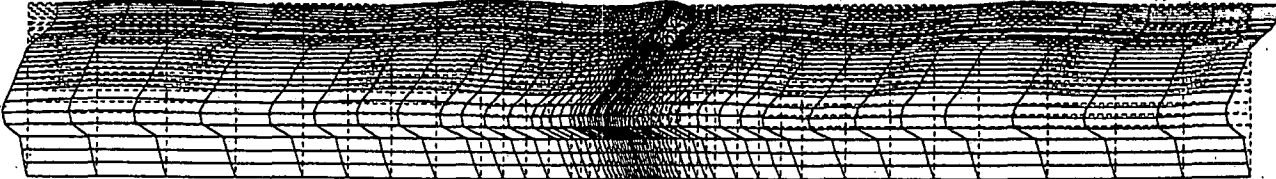


図-3 FEMモデル図



(a) 1次モード



(b) 13次モード

図-4 構造物を有するFEMモデルのモード

表-1 固有値解析結果

モード次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	モード減衰 定数	有効質 量比 (%)
1	0.65	1.54	0.220	79.0
2	0.80	1.25	0.194	0.0
3	1.11	0.90	0.174	0.0
4	1.42	0.70	0.176	0.0
5	1.61	0.62	0.187	0.0
6	1.74	0.57	0.193	0.0
7	1.91	0.52	0.192	0.0
8	2.14	0.47	0.192	0.0
9	2.36	0.42	0.188	0.0
10	2.40	0.42	0.169	0.0
11	2.42	0.41	0.161	0.0
12	2.44	0.41	0.169	0.0
13	2.49	0.40	0.168	4.0
14	2.61	0.38	0.185	0.0
15	2.65	0.38	0.148	0.0

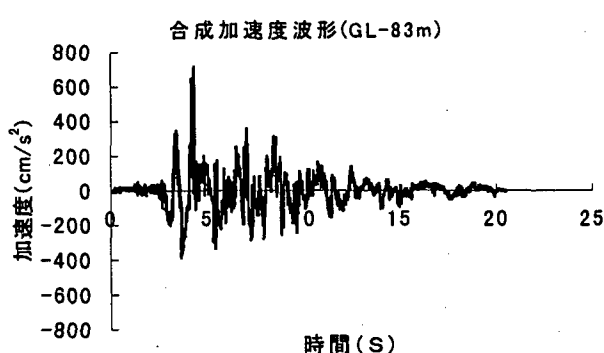


図-5 地震入力動加速度波形

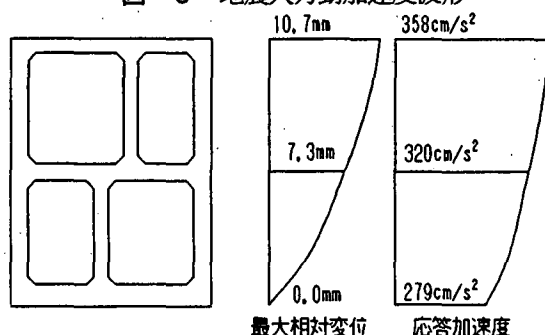


図-6 共同溝位置での地盤の最大相対変位と応答加速度

3. 解析結果

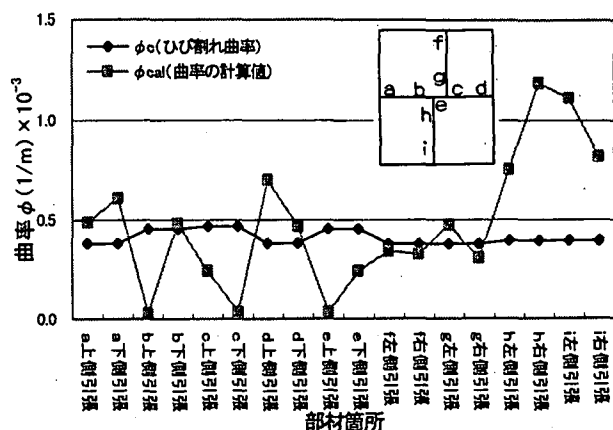
(1) 時刻歴逐次応答解析結果

図-7に、中床版(図-1に示す部材箇所a~e)、中壁(同f~i)、頂版(同j~m)、底版(同n~q)、側壁(同r~y)に関して、常時での自重解析結果と地震による増分の時刻歴逐次解析結果をたし合わせた結果を示す。

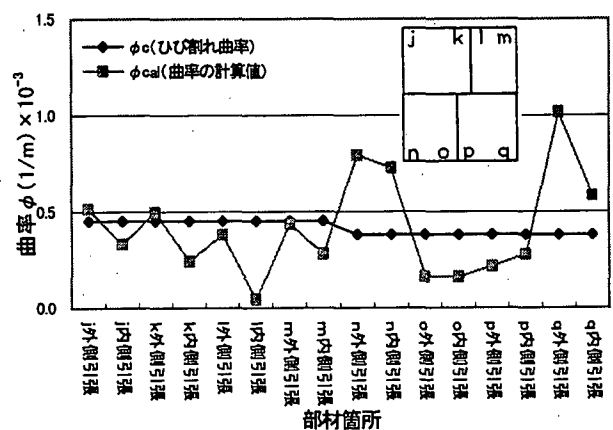
中床版に関して、部材箇所b、c及びeでは、ひび割れ曲率以内であり、部材箇所aとdでは、ひび割れ曲率 ϕ_c を越えている事がわかる。

中壁に関して、部材箇所fとgでは、ほぼひび割れ曲率に一致しており、部材箇所hとiでは、降伏時の曲率($6.0 \times 10^{-3} \sim 1.2 \times 10^{-2}$ 程度)に達していないまでも、ひび割れ曲率を大きく越えている事がわかる。

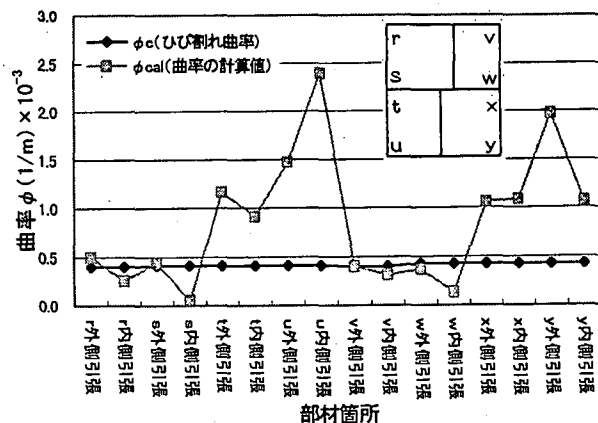
頂版に関して、部材箇所lでは、ひび割れ曲率以内であり、部材箇所j、k及びmでは、ほぼひび割れ曲率に一致している。底版に関して、部材箇所oとpでは、ひび割れ曲率以内であり、部材箇所nとqでは、ひび割れ曲率を越えている事がわかる。



(a) 中床版・中壁



(b) 頂版・底版



(c) 側壁

図-7 時刻歴逐次応答解析結果

側壁に関して、部材箇所 r、s、v 及び w では、ほぼひび割れ曲率に一致しており、部材箇所 t、u、x 及び y では、大きくひび割れ曲率を越えている事がわかる。図-1の共同溝横断面図に示している被災状況と比較すると、側壁に関しては、ややばらつきがみられるものの、概ね解析結果と被災状況が対応していると言える。

(2) 応答震度法による解析結果

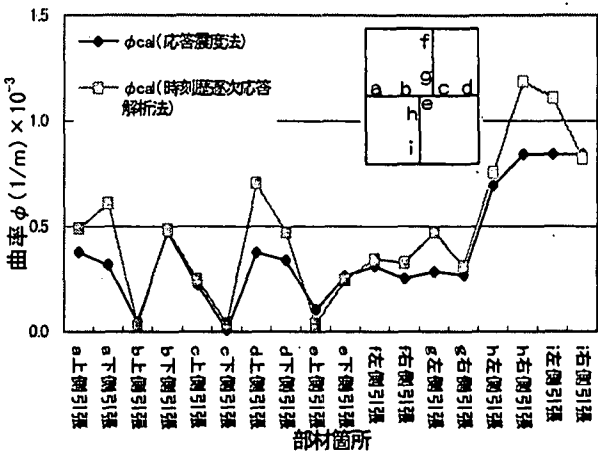
静的な FEM による応答震度法の解析結果を図-8に示す。動的な時刻歴逐次応答解析と静的な FEM による応答震度法の両手法による解析結果を比較すると、両手法の応答曲率は、概ね傾向が一致しているものと考えられる。

4. まとめ

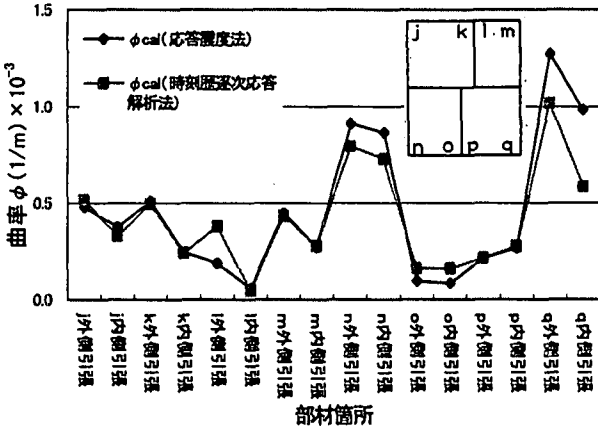
地盤に水平地震動を入力する事によって、共同溝縦断方向にひび割れが生じた被災状況を解析的に検討した。動的な時刻歴逐次応答解析と静的な応答震度法の2つの手法を用いて、横断方向の断面力、曲率を求め、その解析結果は、概ね被災状況と対応していることがわかった。

参考文献

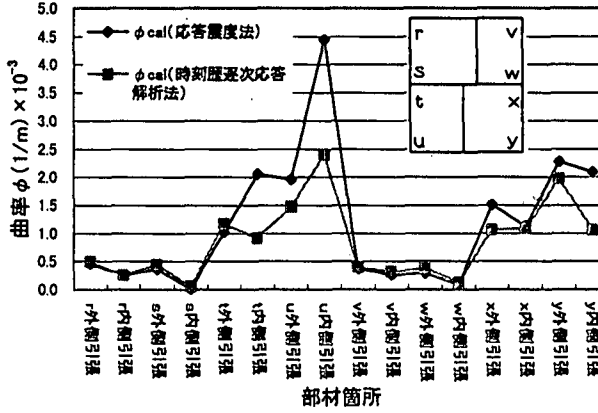
- 1) 建設省土木研究所：平成7年（1995年）兵庫県南部地震災害調査報告，土木研究所報告第196号，1996
- 2) 片山幾夫，足立正信，嶋田穠，都築富雄，瀬下雄一：地下埋設構造物の実用的な準動的解析手法「応答震度法」の提案，第40回土木学会年次学術講演会講演概要集第1部，1985
- 3) 建設省土木研究所：地盤の動的変形特性に関する実験的研究（Ⅱ），土木研究所報告第153号の2，1980
- 4) 建設省土木研究所：沖積粘性土の動的変形特性—せん断割れ率のヒズミ依存性—，土木研究所資料第1504号，1979
- 5) 横田，龍岡：不覚乱洪積粘土のせん断変形係数について，土木学会第32回年次学術講演会講演概要集第3部，1977
- 6) 関口宏二，杉戸真太，岡二三生，八嶋厚，田口洋輔，加藤要一：兵庫県南部地震における鉄アレー強震記録に基づく地震動非線形増幅特性と地盤振動解析法の検討，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，1996



(a) 中床版・中壁



(b) 頂版・底版



(c) 側壁

図-8 応答震度法による解析結果