

セラミックタイルにより補修されたマンホールの震災時における剥離可能性に関する解析的研究

九州大学大学院 ○学生会員 片岡 宗太

九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

エスジーシー下水道センター株式会社 非会員 関野 勇

1. 緒言

老朽化したマンホールの補修工法の1つに、汚泥焼却灰と粘土を混合させて1000～1200の高温で焼いて製造したセラミックタイルを既設マンホール内面に耐硫酸型モルタルを用いて貼付する工法がある（図-1）。しかし、本工法の耐震性能については十分に検討されているとは言い難く、震災時にセラミックタイルの剥離や落下が生じることが心配されている。本研究は、本工法で補修されたマンホールについて、レベル2地震動によってセラミックタイルの剥離が生じる可能性について有限要素法を用いた数値計算により検討を行った。

2. 解析手法の概要

2.1 概要

本解析は、以下の手順に基づき実施した。まず、2次元でモデル化した自然地盤（地中構造物の存在を考慮しない地盤）の地震応答解析を行い、最大応答変位を算出する。得られた最大応答変位を3次元でモデル化したマンホールに静的に強制変位させ、セラミックタイルの剥離の可能性について検討した。なお、一連の解析には汎用非線形構造解析プログラムであるMSC.MARC/mentat2005を用いた。

2.2 解析対象

対象地盤は、N値を3程度とする粘性土を想定し、基盤面を地表面から深さ5mとした。また、対象とするマンホールは図-2に示すような寸法を有する鉄筋コンクリート製であり、鉄筋径は全て5mm、かぶり厚は3cmとし、主鉄筋20本、帯鉄筋を19本とした。モルタル厚は2cm、セラミックタイルの厚さは2cm、タイルはマンホール面内に沿うように曲率を有し、本解析対象における枚数は80枚となっている。

2.3 解析モデル

地盤の力学的特性を線形弾性体と仮定し、平面ひずみ状態を想定した2次元アイソパラメトリック要素を用いてモデル化した。入力地震動は、最大加速度に着目し、兵庫県南部地震で計測された地震波など4波形を用いた（図-3）。マンホールは3次元でモデル化しており、解析時間短縮のため対称性を考慮した1/2モデルとした。コンクリート、モルタル、セラミックタイルは、8節点ソリッド要素、鉄筋は2節点トラス要素を用いてモデル化した（図-4）。各材料の物性値を表-1に示す。また、コンクリートおよび鉄筋の構成モデルは、図-5に示すような弾塑性モデルを適用した。境界条件は、マンホールの底面を全自由度拘束し、地震応答解析により求めた自然地盤の相対変位を強制変位としてモデル側方より与えた。



図-1 補修されたマンホール

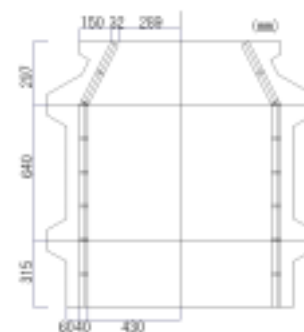


図-2 解析対象断面図

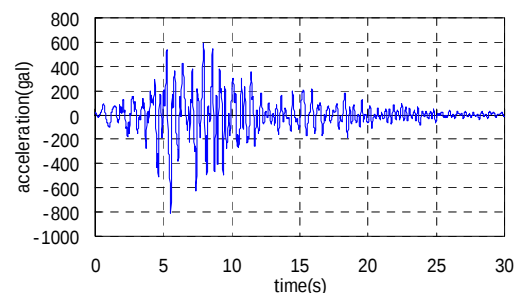


図-3 兵庫県南部地震神戸海洋気象台記録

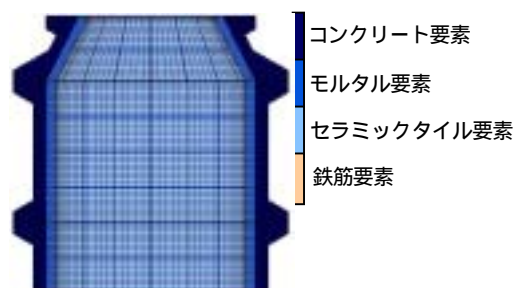


図-4 マンホールの解析モデル

キーワード：マンホール，セラミックタイル，有限要素法，地震応答解析，剥離

連絡先：〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 Tel：092-642-3262

2.4 セラミックタイルの剥離のモデル化

本解析では ,セラミックタイルの剥離を評価するために ,MSC.MARC/mentat2005 の機能である deactivate 機能を用いた .deactivate 機能とは ,モルタルの引張応力が 付着強度を超えたとき ,その要素は剛性マトリックスを作成する段階で除外される ように設定され ,視覚的には要素が消失したように表示される .本解析では , モルタルの壁面垂直方向の応力がモルタルとセラミックタイル付着強度である 2.5N/mm^2 に達したときに剥離が生じたと判断した .

3.数値計算結果および考察

図-6 に地震動によるモルタル要素の損傷状況を示す .図に示すコン ターは ,モルタルの壁面垂直方向の応力を表わしている .図-6 (a) に示すように , 福岡県西方沖地震で計測された最大加速度 200gal 程度 の地震動の場合 ,モルタル要素の損傷は殆ど見受けられず ,セ ラミックタイルの剥離の可能性はないと判断された .表-2 に示す ように最大加速度 400gal 以上の地震においては ,剥離の可能性は高い ものと考えられ ,特に最大加速度 800gal 程度 (兵庫県南部地震)の 場合 ,図-6 (b) に示すようにモルタル要素の破壊は顕著に見られ , セラミックタイルの剥離の可能性は非常に高いものと判断された .

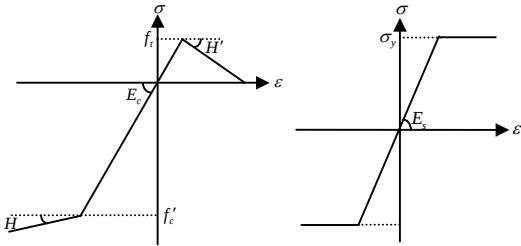
マンホール本体のコンクリートの損傷状況を図-7 に示す .図に示すコンタ ーは ,最大主ひずみ分布を表わしている .図-7 (a)に示すように最大加速度が 200gal 程度の地震動では ,マンホール底部よりひび割れ相当の主ひずみが生 じているが ,本体の性能を著しく損なうものではないと考えられる .また , 最大加速度 400gal 以上でマンホール内面であるモルタルとの接触面まで引張 強度を超える要素が見受けられ ,特に最大加速度 800gal 程度 (兵庫県南部地 震)では ,図-7(b) に示すように ,ひび割れ相当の主ひずみがコンクリートの ほぼ全域に生じていることが分かる .本解析では ,地盤を線形 弾性体と仮定したこと ,マンホール底面を全自由度拘束したこと ,コンクリートの構成モデルに圧壊を考慮していないことな どからマンホールの損傷状況を過大に評価した可能性がある と考えられる .

4.結論

レベル 2 地震動によりセラミックタイルの剥離が生じる可 能性を数値計算によって把握することができた .補修されたマ ンホールは ,最大加速度が 200gal 程度であればセラミックタ イルの剥離の可能性は低いと考えられ ,最大加速度が 400gal 以上の地震動であればタイルの剥離の可能性は高いと考えら れた .マンホール本体においては最大加速度 400gal 以上で , モルタルとの接触面まで損傷領域が拡がることが確認できた . 今後は ,更に正確な評価をするためにコンクリートの構成モデ ルの検討 ,地盤とマンホールの動的相互作用を考慮した解析を 行う必要があると考えられる .

表-1 材料特性

材料	物性値	
コンクリート	弾性係数 (kN/mm ²)	20
	ポアソン比	0.2
	圧縮強度 (N/mm ²)	30
	引張強度 (N/mm ²)	3
鉄筋	弾性係数 (kN/mm ²)	210
	ポアソン比	0.3
	降伏強度 (N/mm ²)	300
モルタル	弾性係数 (kN/mm ²)	18
	ポアソン比	0.2
セラミックタイル	弾性係数 (kN/mm ²)	31
	ポアソン比	0.2

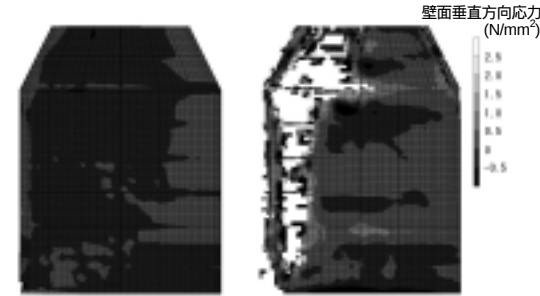


(a) コンクリート構成モデル (b) 鉄筋構成モデル

図-5 材料構成モデル

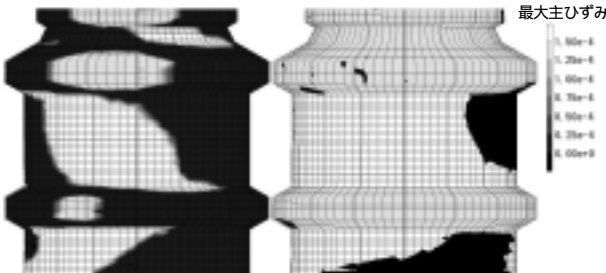
表-2 セラミックタイルの剥離状況

入力地震動	剥離したモルタル要素数/全要素数 (%)
兵庫県南部地震 (max800gal)	26%剥離
北海道釧路沖地震 (max600gal)	23%剥離
新潟県中越地震 (max400gal)	19%剥離
福岡県西方沖地震 (max200gal)	1%剥離



(a) 最大加速度 200gal (b) 最大加速度 800gal

図-6 モルタル要素の損傷状況



(a) 最大加速度 200gal (b) 最大加速度 800gal

図-7 コンクリート要素の損傷状況