

復旧性能に着目した地中構造物の地震時損傷確率評価(その1)

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○堤内 隆広 (株)大林組 技術研究所 正会員 副島 紀代
 同 技術研究所 正会員 江尻 譲嗣 同 土木本部 正会員 渡辺 伸和
 同 原子力本部 足立 高雄 同 原子力本部 吉田 伸一

1. はじめに

設計荷重を上回る巨大な地震力に対する構造物の損傷リスクを定量的に把握するためには、構造物の損傷モードとその発生確率を fragility (損傷確率) として評価することが必要となる。しかしながら損傷の定義は構造物に要求される性能により様々であり、機能保持の観点から合理的な損傷指標を設定する試みも行われている¹⁾²⁾³⁾。本稿では、取放水路としての用途を想定した地中 RC ボックスカルバートを対象に、地盤-構造物連成 2 次元 FEM モデルによる非線形時刻歴応答解析を実施し、復旧性能に着目した地震時 fragility 評価を試みた。(その1) では復旧性能に応じた損傷指標の検討について報告する。

2. 解析モデル

評価対象は参考文献⁴⁾に示された1層2連の地中 RC ボックスカルバートである。図-1 にカルバートの構造図、表-1 に材料モデル一覧をそれぞれ示す。なお、材料モデルに示す定数は基本ケースのものであり、fragility 評価の際にはばらつきを考慮してコンクリート強度の値を変化させるものとする。

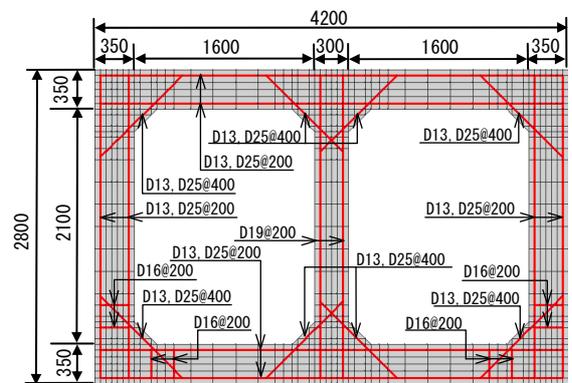


図-1 カルバート構造図

表-1 カルバートの材料モデル

要素タイプ	コンクリート	鉄筋
	四辺形平面ひずみ要素	梁要素
ヤング率[N/mm ²]	2.65 × 10 ⁴	2.06 × 10 ⁵
強度[N/mm ²]	F _c =27.0 F _t =2.07	343.0
ポアソン比	0.167	0.3
非線形構成則	圧縮側: 修正Ahmadモデル 引張側: 出雲モデル(C=1.0)	バイリニア (二次剛性1/100)

3. 復旧性能に応じた損傷指標の定義

対象とするカルバートの基本的な構造性能を把握するため、静的プッシュオーバー解析を実施し、各種損傷状態を判断できる損傷指標とその限界値を検討した。図-2 にプッシュオーバー解析により得られた荷重-変位関係を、図-3 に各限界状態における構造物の変形とひび割れ状況をそれぞれ示す。また、参考文献⁵⁾に示された正負交番載荷実験の結果も参考とし、損傷指標を層間変形角として表-2 に整理した。その結果、鉄筋初降伏時および軸力保持機能喪失時の層間変形角は、解析と実験で概ね整合したため、解析により得られた値を限界値として採用した。ただし、隔壁あるいは側壁がせん断破壊し荷重が減少する点(最大耐力)での層間変形角は、解析と実験で差が見られた。これは解析と実験での載荷方法の違い(プッシュオーバーと正負交番載荷)による影響が考えられる。地震動による作用は繰り返し荷重であることを勘案し、今回は正負交番載荷実験における隔壁のせん断破壊時の層間変形角を安全側の限界値として採用した。これらの限界値と、

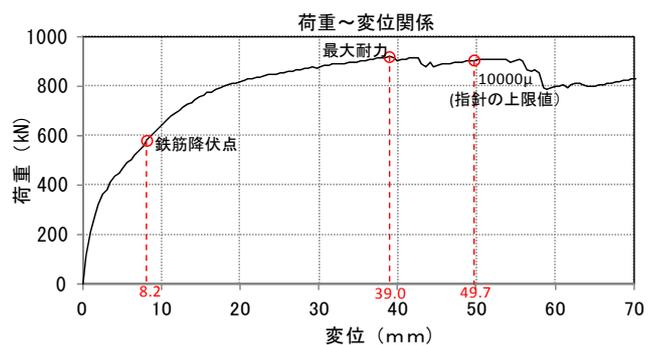


図-2 プッシュオーバー解析による荷重-変位関係

コンクリート標準示方書・設計編⁶⁾に示された損傷レベルから、表-2 に示す「無被害」「小破」「中破」「大破」という4つの損傷レベルを設定することとした。「無被害」～「中破」は上記示方書中に示された損傷レベル1～3にはほぼ対応し、さらにカルバート全体として内空を確保できなくなる損傷レベルを「大破」と設定した。

キーワード ボックスカルバート, fragility, 損傷指標, 層間変形角, 損傷レベル

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組 技術研究所 構造技術研究部 TEL042-495-1013

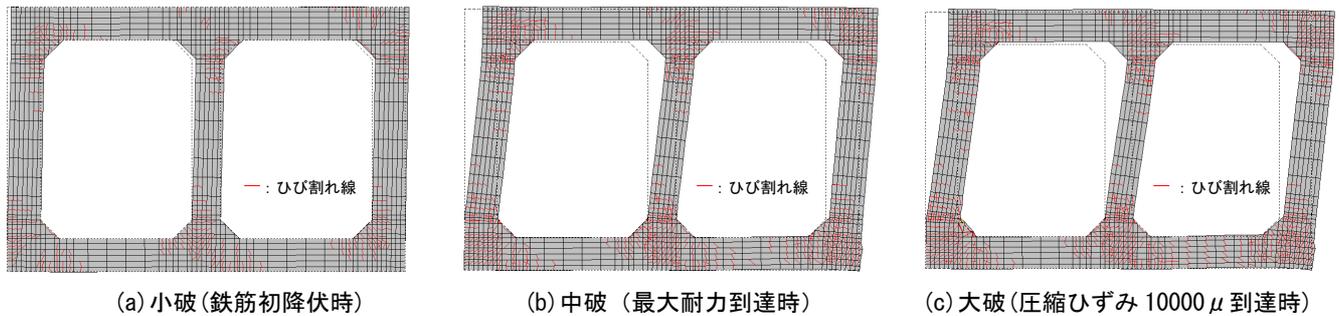


図-3 各限界状態における変形およびひび割れの状況 (基本ケース)

表-2 解析および実験による層間変形角と損傷レベルの関係

層間変形角	解析(プッシュオーバー)におけるイベント	実験(正負交番) ⁵⁾ におけるイベント	損傷レベル	損傷状態
4/1000 未満			無被害	無損傷
4/1000	鉄筋初降伏 (隔壁上部)		小破	場合によって補修が必要な損傷
5/1000		鉄筋初降伏 (側壁下部)		
8/1000		隔壁のせん断破壊 (水平荷重約 25%低下)	中破	補修が必要な損傷
12/1000		側壁せん断破壊 (常時鉛直荷重は保持可能)		
16/1000	最大耐力到達 (終局限界)			
21/1000	コンクリート圧壊 (圧縮ひずみ 10000 μ・指針の上限)		大破	大規模な補修あるいは再構築が必要な損傷
22/1000		軸力保持機能喪失		

なお、復旧性能の観点から見た各損傷レベルの位置づけは、下記の通りとする。

- ①無被害：(鉄筋降伏開始点まで) 構造物の応答が弾性域で収まり、補修を必要としない損傷レベル
- ②小破 (鉄筋降伏開始点～最大耐力到達点まで)：鉄筋降伏が始まり、構造物の応答が弾性域から塑性域に入るが、無補修もしくは軽微な補修で早期復旧可能な損傷レベル
- ③中破 (最大耐力到達点～軸力保持機能喪失点まで)：部材にせん断破壊または曲げ破壊が生じ耐力が低下することから、補修が必要であるが、軸力は保持しており、内空は確保できる損傷レベル (通水機能等の維持)
- ④大破 (軸力保持機能喪失点以降)：軸力保持機能を喪失し、内空が確保できなくなり (通水機能等の喪失)、復旧には大規模な補修あるいは再構築が不可欠な損傷レベル

4. まとめ

地中 RC ボックスカルバートについて、プッシュオーバー解析結果と既往の正負交番載荷実験結果に基づき、復旧性能の観点から損傷状況に応じた損傷指標 (層間変形角) の限界値と、「無被害・小破・中破・大破」という 4 つの損傷レベルを設定した。(その 2) では本稿で設定した損傷レベルに基づいた損傷確率を求める。

なお、最大耐力到達点については解析と実験で損傷指標の限界値に差が見られた。安全側の限界値を解析で精度良く評価するには、載荷方法をプッシュオーバーではなく正負交番として行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 田村, 伊達, 永井, 渡辺: 地中構造物の要求性能に応じた限界変位の検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012
- 2) 伊達, 大内, 浅井, 米澤: 地中構造物の変位照査による地震リスクとスクリーニングアウトの考え方, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012
- 3) 坂本, 伊達, 伊奈, 田中: 地中ボックスカルバート中壁のせん断破壊後の軸力保持機能の検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012
- 4) 曾良岡, 足立, 松原, 市川: 地中ボックスカルバート構造物の非線形地震応答解析におけるマクロ・マイクロモデルの比較検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.1345-1350, 2000
- 5) 曾良岡, 足立, 本田, 田中: 地中ボックスカルバートの変形性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.1123-1128, 2001
- 6) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp.279, 2013 年 3 月