

PCR工法の耐震設計について

オリエンタル建設(株) 東京支店 正会員 ○ 大信田 秀治
 ジェイアール総研エンジニアリング 非会員 木村 礼夫
 ジェイアール総研エンジニアリング 非会員 獅子目 修一
 オリエンタル建設(株) 本 社 正会員 清原 勝司

1. はじめに

PCR工法とは交差する上部路面を供用しながら、地中に方形断面のPCR桁を並列推進し、構造物を構築する非開削工法の一つである。この工法の特徴として、桁に推進方向と直行する方向で横締めを行い、桁を一体化して構造物を構築することが上げられる。

一般的な地下トンネルの耐震設計は、“鉄道構造物設計標準・同解説(耐震設計) 鉄道総合技術研究所(平成11年10月)”(以下【耐震標準】という)に準拠することを基本としているが、PCR部材工法により構築された地下トンネルの耐震性能の照査については、これまで明確な指標が示されていない。

そこで本稿では、交差部の支間・横断距離・土被りなどによって、下路桁形式・スラブ桁形式・箱形トンネル形式・円形トンネル形式に大別される構造の中で、近年の施工実績が多い箱形トンネル形式を対象とした耐震設計の考え方の一例について述べる。

2. 耐震性能と部材損傷レベルの考え方

【耐震標準】では構造物の重要性・復旧性を考慮して耐震性能を設定している。耐震性能および損傷レベルを表-1, 2に、本検討で照査する地下トンネルの構造概要と、各部材の耐震性能の一例を図-1に示す。

表-1. 構造物の耐震性能

耐震性能Ⅰ：地震後にも補修しないで機能を維持できる
耐震性能Ⅱ：地震後に機能が短期間で回復でき、適度な補修を必要とする。
耐震性能Ⅲ：地震によって構造物体系が崩壊しない

表-2. 部材の損傷

損傷レベルⅠ：無損傷
損傷レベルⅡ：場合によっては補修が必要
損傷レベルⅢ：補修が必要
損傷レベルⅣ：補修が必要で、場合によっては部材の取り替えが必要

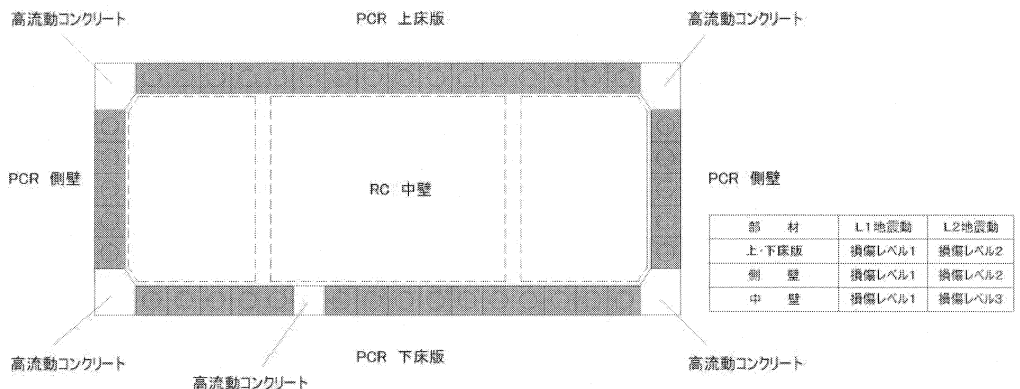


図-1. 構造概要および耐震性

3. 耐震性能照査

3.1 基本

構造が複雑でない箱形トンネル形式の耐震設計は、静的非線形解析である応答変位法によって耐震性能の照査を行う。耐震設計の照査フローを図-2に示す。

耐震性能の照査は、破壊形態と損傷レベルの判定により行う。設計地震動については、L1, L2地震動について行うことを基本とする。

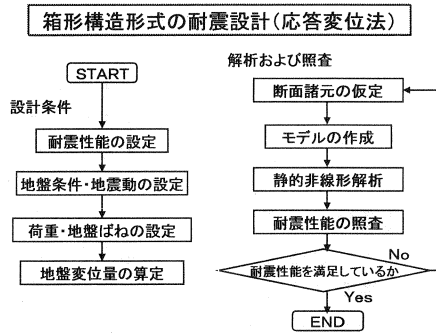


図-2 耐震性能照査フロー

3.2 応答変位法の解析モデル

解析モデルは、4周面に Winkler 型のバネを設置し、地震時荷重として地盤バネを介して地盤変位、周面せん断力、慣性力を载荷する手法である。構造物は、非線形性を考慮した骨組みの線材としてモデル化する。なお、地盤変位は等価線形化法や逐次積分法などの動的解析や、表層地盤の固有周期により算定する。

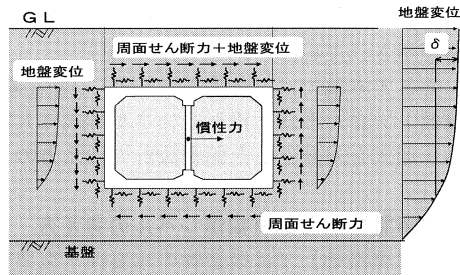


図-3 応答変位法概念図

3.3 非線形特性の設定

RC部材の荷重-変位曲線を図-4、PCR部材の荷重-変位曲線を図-5に示す。一般的なRC部材はひび割れの発生、軸方向鉄筋の降伏、最大荷重程度の維持、降伏荷重の維持を変曲点としたテトラリニア型でモデル化するのに対して、PCR部材ではプレストレスの消失、コンクリートの圧壊を変曲点としたトリリニア型でのモデル化を提案している。PCR部材のモデル化は、使用限界状態の設計がフルプレストレスを考慮していることや、これまでに実施された載荷実験の結果を考慮して設定した。

このように設定した非線形特性をもとに、プレストレスが消失するまでを損傷レベル1、コンクリートが圧壊するまでを損傷レベル2に設定した。それ以上の損傷は、補修が困難となるため損傷レベル3は許容しないこととした。

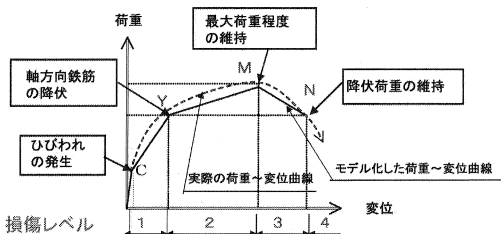


図-4 鉄筋コンクリート部材の荷重-変位曲線と損傷レベルの関係

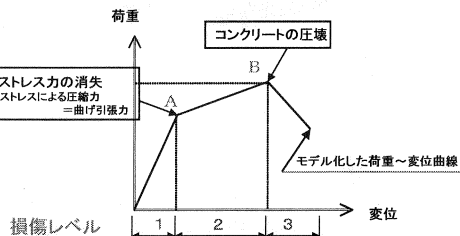


図-5 PCR部材の荷重-変位曲線と損傷レベルの関係

3. 4 破壊形態・損傷レベルの検討

【耐震標準】による耐震設計は構造物の変形性能に期待した設計方法であるため、ぜい性破壊であるせん断破壊が先行する部材は設計上好ましくない。

破壊形態の判定では軸方向鉄筋に材料修正係数 (ρ_m) = 1.2 を考慮した解析を実施し、曲げ破壊先行型かせん断破壊先行型かの判定を行う。

損傷レベルの照査は軸方向鉄筋の材料修正係数 (ρ_m) = 1.0 で解析した結果を用いる。構造物の応答値は、上下床版における最大層間変位量とする。

図-6 に破壊形態・損傷レベル照査のフローを示す。

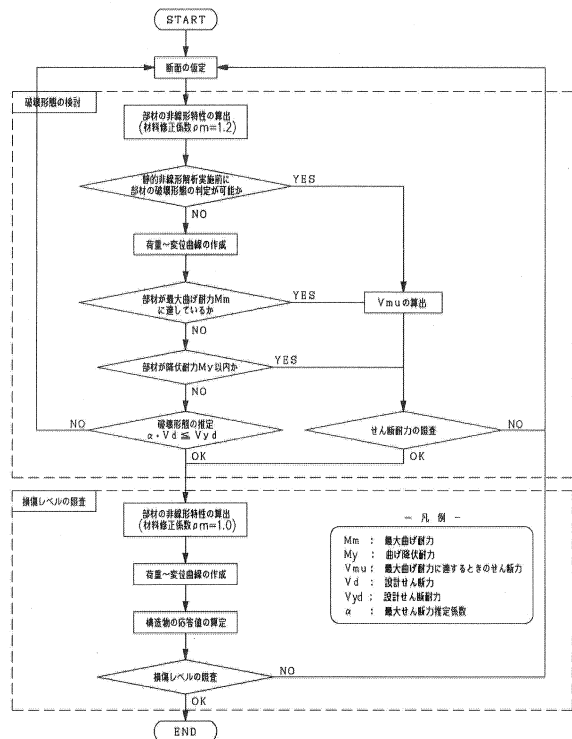


図-6 破壊形態・損傷レベル照査フロー

4. 照査例

照査結果の一例として、一層3径間の標準的な構造物に対して耐震照査を実施した結果を紹介する。この構造物は土かぶり (***)m が比較的浅い線路横断構造である。照査を行った構造物の骨組み図を図-7 に、荷重図を図-8 に示す。

提案した耐震照査方法を用いて解析を実施した結果、すべての部材で曲げ破壊先行型となり、損傷レベルも2以内であることが確認できたため、所定の耐震性能を満足する結果が得られた。

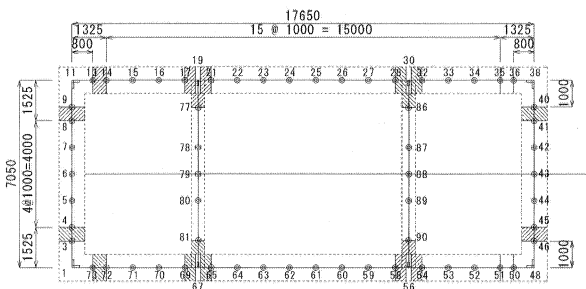


図-7 骨組み図

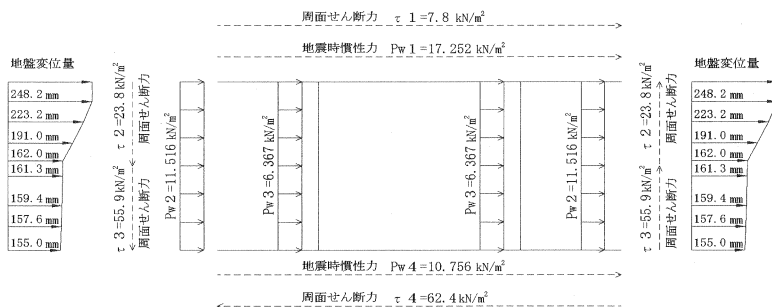


図-8 荷重図

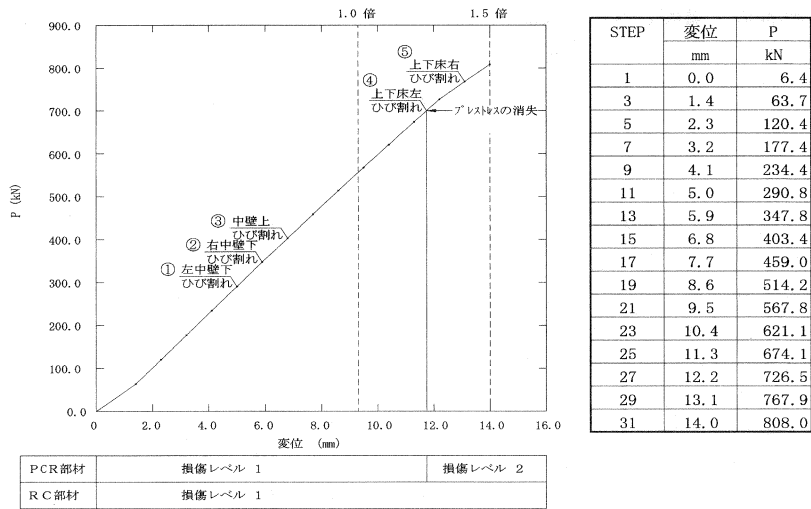


図-9 荷重-変位曲線

部 材	上 床	上 床	下 床	下 床	側壁右	側壁右	中間壁左	中間壁左	中間壁右	中間壁右
要 素	13	35	50	72	40	45	77	82	87	92
Md	803.8	-925.1	-793.4	983.9	760.0	-745.0	333.1	-379.8	318.9	-350.5
Vd	138.3	237.2	255.4	232.1	367.3	203.4	86.5	145.2	79.4	138.2
N'd	1452.5	1896.7	1361.2	2085.8	1824.7	1439.5	397.5	462.8	277.1	342.4
曲げ耐力の検討										
My	-	-	-	-	-	-	540.5	-475.9	442.2	-460.6
Md/My	-	-	-	-	-	-	0.616	0.798	0.721	0.761
Mm	1322.3	-1479.5	-1289.6	1545.5	1454.2	-1317.6	549.7	558.8	532.8	542.0
Md/Mm	0.608	0.625	0.615	0.637	0.523	0.565	0.606	0.680	0.599	0.647
せん断耐力の検討										
Mds	724.2	-925.1	-793.4	856.6	726.7	-628.2	288.7	-379.8	278.0	-350.5
Vds	164.7	237.2	255.4	252.8	372.4	240.7	91.3	145.2	84.2	138.2
N'ds	1472.2	1896.7	1361.2	2046.5	1820.1	1472.9	402.8	462.8	282.4	342.4
Vd'	197.6	284.6	306.5	303.4	446.9	288.8	109.6	174.2	101.0	165.8
Vyd	815.7	856.3	805.1	870.6	849.0	815.8	224.7	231.9	210.2	217.4
Vd'/Vyd	0.242	0.332	0.381	0.348	0.526	0.354	0.488	0.751	0.481	0.763
破壊形態	曲げ破壊型									

図-10 破壊形態の照査

部 材	上 床	上 床	下 床	下 床	側壁右	側壁右	中間壁左	中間壁左	中間壁右	中間壁右
要 素	13	35	50	72	40	45	76	82	87	92
格点番号	13	35	50	72	40	45	76	82	85	91
損傷レベル	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1
状 態	プレ消失	プレ消失	プレ消失	プレ消失	-	ひび割	ひび割	ひび割	ひび割	ひび割
STEP	26	30	30	26	-	26	15	11	15	13
制 限 値	2				3					
耐震性能	II									
制 限 値	II									

図-11 損傷レベルの照査

5. おわりに

PCR工法は、非開削トンネル推進工法で唯一PC部材を用いたものであり、耐震設計における耐震性能と損傷レベルを明確化することで、より安全かつ経済的な構造として今後も普及していくものと期待される。本稿が、今後の耐震設計の参考になれば幸いである。