

ヒンジを有するプレキャスト部材による大断面明り巻トンネルの動的解析

(株)ニュージェック 非会員 佐治 嘉一
日本コンクリート工業(株) 正会員 ○小野 由博 , 正会員 川村 淳一

1. はじめに

当初,内空幅 16.9m,内空高 11.0m の道路トンネルの明り巻区間は,杭基礎(杭長 5m)と現場打ちコンクリート構造による覆工で考えられていたが,インバート下面付近に強風化凝灰角礫岩が 10m 以上堆積していることが分ったことと,本トンネル近隣の民間施設への,施工中の環境に対する配慮から工期短縮が要求されたため,良質土による置換工法とプレキャストアーチカルバート工法(モジュラーチ)が採用された. しかしながら,これまで大断面(内空断面積 150m² 程度)の類似実績があまりなく,また支持地盤の条件が良好な場合に限定されていたことから,動的解析を実施したので,耐震性能を初めとする検証について報告する.

2. モジュラーチ工法の概要

モジュラーチ(Modularch)は,1982 年フランス・マティエール(Matiere)社が開発した製品及び施工法で,アーチ構造物の持つ形状の美しさと合理性を兼ね備えた,多分割式の 2 ヒンジアーチ構造物築造システムである. モジュラーチ断面は,上半円弧の肩部(交角 90°)に左右 2 つの分割点(ヒンジ)を持つ. この分割点の位置は,剛結合としたときの曲げモーメントの符号の変化点付近となる. すなわち,曲げモーメントがゼロ付近となる位置で分割することにより,より大きなアーチ構造物をプレキャスト部材で構築できる利点がある.

3. 動的解析

動的解析におけるモデルは,周辺地盤を図-2 に示すような 2 次元 FEM モデルとした. 地震波として兵庫県南部地震の神戸海洋気象台で得られた波をモデル底面(粘性境界)に入力した.

時刻歴応答解析において,部材の挙動は周辺地盤の変位に支配される. そこで, M-φモデルに基づく骨組要素集合体で表された部材と,2 次元有限要素集合体としての地盤モデルに対し,相互作用を考慮した解析を行って,性能を照査した.

応答解析時の初期状態は,構造物については死荷重時の断面力を採用し,地盤については初期応力のない状態を想定した. 構造物の物性については,側壁の部分に非線形特性を設定した. また,非線形部材の曲げ剛性については,死荷重状態において,断面のひび割れモーメントを超えている部材が複数存在したことから,数値解析上の安定性等を考慮して,降伏剛性(原点と初降伏耐力を結ぶ割線剛性)を用いた. 地盤要素の物性に

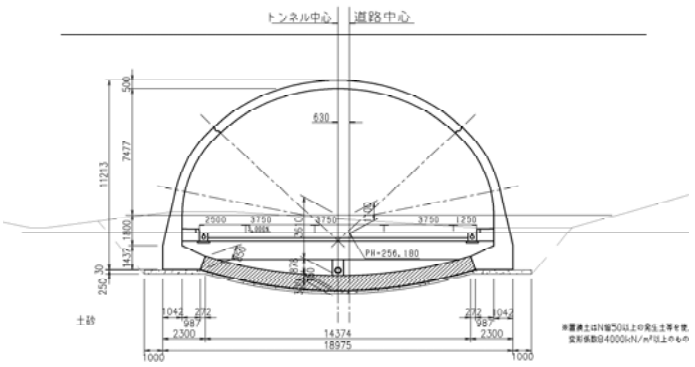


図-1 標準断面図

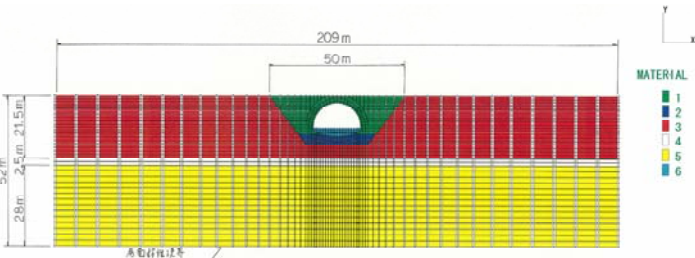


図-2 解析モデル図

キーワード トンネル, 明り巻, プレキャストコンクリート, 動的解析

連絡先 〒 108-0075 東京都港区港南1-8-27 技術開発第二部土木製品 G TEL03-5462-1037

については、変形係数から動的ポアソン比を用いて、せん断剛性を算出した。
ただし、変形係数を $E_o=2800N$ により推定した場合については、その値を 2 倍して算出した。地盤については、N 値が 100 を超える風化凝灰角礫岩と弱風化凝灰角礫岩以外については、せん断応力-せん断ひずみ関係に非線形特性を設定した。非線形特性は R-O モデル(Ramberg-Osgood モデル)を採用し、R-O モデル設定の基となるひずみ依存曲線は、土研式より算出した。
なお、本解析における対象地盤に粘性土はなく、砂質土と礫のみであるので、沖積砂質土の式を用いた。土研式を用いる際の平均有効主応力(拘束圧)は、構造物を考慮した地盤の自重解析から算出した。解析時の減衰には、レーリー減衰を用い、そのパラメータは、1 次モードの振動数と減衰の値と、振動数 5Hz で減衰が 2%となるような点を採用した。応答解析は、直接積分法を用いて行い、解析時の積分時間間隔は $\Delta t=0.002$ 秒で、解析は 0 秒～40.0 秒について行った。

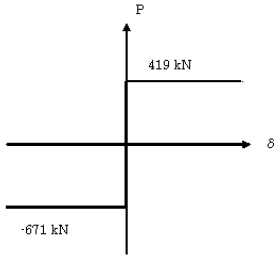
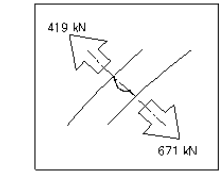


図-3 ヒンジ部のモデル化

ヒンジ部は、図-3 に示すように法線方向に一定のせん断力が働くと外れるようなモデル化を行った。このせん断力の上下限値は、ヒンジ部の要素実験で確認した値を用いた。

4. 解析結果

1)側壁部について

部材の照査は、3 波の応答結果を平均した平均値をひび割れモーメント及び降伏曲率と比較した。これは、非線形特性を設定した部材の平均値を算出する際に、モーメントで判定を行うと過小評価になるため、降伏に関しては降伏曲率で判定を行った。

左右の側壁とも、下部から約 5m 程度の位置までひび割れ状態にあり、最下部の部材では、平均値が降伏曲率を超える応答結果となった。ただし、両部材とも許容曲率 ϕ_a の値を超えることはなかった。側壁部材に関しては、死荷重時で外側引張の曲げモーメントが生じていることもあり、ひび割れ曲げモーメント及び降伏曲率とも超過するのは、外側引張の状態で耐力値を超える結果となった。

2)側壁以外の部材について

側壁以外の部材についても、ひび割れモーメントを超過している部材が数多く存在していたが、降伏している部材はなかった。これらの部材は、入力地震動で発生する曲げモーメントよりも、死荷重時に発生する曲げモーメントの方が支配的であると言える。

3)ヒンジ部の挙動についてについて

地震応答解析中にヒンジ部のせん断力はほとんど変動せず、入力した地震動では、ヒンジ部の滑動は生じない結果になった。

5. まとめ

- ・側壁基部から約 5m 程度まで、非線形挙動を示したが、すべての部材で許容曲率以下となった。
- ・側壁以外の部材は、地震動よりも死荷重時の方が支配的であった。
- ・ヒンジ部は、せん断力の変動及びヒンジ間の相対変位はほとんどなかった。

今後は、部材の軸力変動及びひび割れの開閉による影響なども考慮した解析を行いたい。

表-1 非線形部材応答値

部材番号	判定	符号	最大曲率				許容値				判定	降伏
			TYPE II-1	TYPE II-2	TYPE II-3	平均値	降伏	許容	許容	許容		
			最大値 (1/m)	最大値 (1/m)	最大値 (1/m)	最大値 (1/m)	ϕ_y (1/m)	ϕ_a (1/m)	ϕ_a (1/m)	ϕ_a (1/m)		
16	平均	-	-2.73E-3	-2.33E-3	-3.67E-3	-2.91E-3	-2.50E-3	-3.58E-2	OK	OK	OK	降伏
	+	+					2.50E-3	3.89E-2	OK	OK		
17	平均	-	-3.16E-3	-2.83E-3	-3.18E-3	-3.06E-3	-3.18E-3	-3.62E-2	OK	OK	OK	
	+	+					3.29E-3	3.92E-2	OK	OK		
18	平均	-	-4.12E-3	-3.73E-3	-4.16E-3	-4.00E-3	-4.64E-3	-3.67E-2	OK	OK	OK	
	+	+					4.48E-3	3.97E-2	OK	OK		
19	平均	-	-4.27E-3	-4.02E-3	-4.36E-3	-4.22E-3	-5.63E-3	-3.73E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.41E-3	4.03E-2	OK	OK		
20	平均	-	-3.17E-3	-3.14E-3	-3.29E-3	-3.20E-3	-5.78E-3	-3.76E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.55E-3	4.06E-2	OK	OK		
21	平均	-	-2.06E-3	-2.19E-3	-2.19E-3	-2.15E-3	-5.76E-3	-3.80E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.53E-3	4.09E-2	OK	OK		
22	平均	-	-1.22E-3	-1.32E-3	-1.28E-3	-1.28E-3	-5.74E-3	-3.83E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.51E-3	4.13E-2	OK	OK		
23	平均	-	-4.24E-4	-4.58E-4	-4.44E-4	-4.42E-4	-5.71E-3	-3.87E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.49E-3	4.16E-2	OK	OK		
36	平均	-	-4.84E-4	-5.02E-4	-4.53E-4	-4.80E-4	-5.71E-3	-3.87E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.49E-3	4.16E-2	OK	OK		
37	平均	-	-1.35E-3	-1.42E-3	-1.30E-3	-1.36E-3	-5.74E-3	-3.83E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.51E-3	4.13E-2	OK	OK		
38	平均	-	-2.15E-3	-2.27E-3	-2.15E-3	-2.19E-3	-5.70E-3	-3.80E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.53E-3	4.09E-2	OK	OK		
39	平均	-	-3.02E-3	-3.30E-3	-3.12E-3	-3.15E-3	-5.78E-3	-3.76E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.55E-3	4.06E-2	OK	OK		
40	平均	-	-3.81E-3	-4.35E-3	-4.01E-3	-4.05E-3	-5.63E-3	-3.73E-2	OK	OK	OK	
	+	+					5.41E-3	4.03E-2	OK	OK		
41	平均	-	-3.54E-3	-4.16E-3	-3.74E-3	-3.81E-3	-4.64E-3	-3.67E-2	OK	OK	OK	
	+	+					4.48E-3	3.97E-2	OK	OK		
42	平均	-	-2.67E-3	-3.19E-3	-2.82E-3	-2.89E-3	-3.39E-3	-3.62E-2	OK	OK	OK	
	+	+					3.29E-3	3.92E-2	OK	OK		
43	平均	-	-2.19E-3	-3.62E-3	-2.26E-3	-2.69E-3	-2.56E-3	-3.58E-2	OK	OK	OK	降伏
	+	+					2.50E-3	3.89E-2	OK	OK		