

I-B 443 開削トンネルの免震構造に関する模型振動実験（実地震波加振）

熊谷組技術研究所 正会員 粕田 金一 鈴木 猛康 田中 港
熊谷組 土木本部 正会員 小林 正宏

1. はじめに

トンネル外周に軟らかな免震層を形成することによるトンネル横断面方向の免震効果¹⁾の検証を目的として、地震時の横断面変形でコーナー部に大きな断面力の発生する矩形断面トンネルを対象とした模型振動実験を実施した。実験装置、実験材料など諸条件および正弦波加振の結果は文献²⁾にて報告したので、ここでは実地震波を用いた加振結果について報告を行う。加振は水平方向以外に、水平・上下方向同時加振も実施し、上下動の影響についても検討を行った。

2. 実験条件（実験の諸条件は文献²⁾を参照）

トンネル模型の設置レベルは、図1に示すように表層地盤の中央に設置されるケースを対象とした。

実地震波は、原波形において3～4Hz付近（表層地盤の1次固有振動数付近に相当）の短周期成分の比較的卓越する記録である釧路沖地震（1993.1.15、M7.8）の際に釧路地方気象台において観測された水平EW成分および上下成分（最大加速度はそれぞれ922gal, 467gal）を水平方向の最大加速度が200gal、上下方向の最大加速度が100galとなるように振幅調整し、時間軸を相似則にしたがい0.0894倍に縮めてそれぞれ水平方向および水平・上下同時加振に用いた。図2に入力に用いた加速度の振幅・周波数特性を、図3に水平・上下方向の加速度時刻歴を示す。

3. 実験結果

模型地盤のGL-5cmの位置における入力動に対する加速度応答倍率は、水平方向加振で1.51倍、水平・上下方向加振で1.39倍（水平方向）、1.80倍（上下方向）となった。本ケースの入力レベルでは地盤の非線形性の影響が顕著といえる。

模型の横断面方向に発生する断面力の内、本報告では歪みゲージの曲げひずみから求めた曲げモーメントについて詳細を示す。図4に免震層のない場合、ある場合の曲げモーメントの時刻歴波形の代表例（底版の外側コーナー部）を示す。いずれも実線が水平方向、点線が水平・上下方向加振の場合を示している。また、図5、図6に曲げモーメントの最大値分布をそれぞれ水平方向加振、水平・上下方向加振について示す。さらに、表1に曲げモーメントの最大値、水平加振に対する比および免震層ありに対する曲げモーメント低減率の一覧を示す。

上下動を加えた場合の曲げモーメントの応答値は、図4、表1からわかるように、水平動のみの場合に比べて1.1倍程度の値となった。またここには示していないが、せん断力については1.1倍程度、軸力については1.1～1.3倍程度の値となった。ただし、この倍率の中には、水平・上下方向加振の場合の入力最大加速度の達成値が水平加振の場合に比べて5%ほど大きかったことも影響していると考えられる。

図4～図6および表1から免震層を設けることによって、頂版・底版・側壁および隔壁の曲げモーメントの値が半分程度に低減し、この低減効果は水平方向加振および水平・上下方向加振に共通して確認できた。また、せん断力についても同程度の低減効果がみられた。軸力については免震ありの方が免震なしに比べて大きな値となる箇所も部分的にみられたが、地下構造物の地震時の設計では一般に軸力の影響は決定的でないことを考えると、免震層による地震時の断面力低減に非常に有効な手法であることが実験的に確認できた。

4. まとめ

矩形断面トンネル横断面方向の免震効果の検証を目的として模型振動実験を実施した結果、実地震波加振（水平方向加振、水平・上下方向加振）の場合でも曲げモーメント・せん断力に対する大きな低減効果があることが実証された。また、本研究で設定した地震波の入力条件に対しては、水平・上下方向加振の場合、トンネルの断面力は水平動のみに比べて約1.1～1.3倍程度の大きさとなった。本実験では直土圧・せん断土圧も測定しており、今後、解析との比較など詳細な検討を実施する予定である。なお本研究は、建設省土木研究所、(財)土木研究所と民間17社による官民共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の一環として行われたものである。

（参考文献）1）鈴木：トンネル免震構造の開削トンネルへの適用，土木学会第23回地震工学研究発表会，pp.413～416，1995。

2）田中他：第51回土木学会年次学術講演会概要集，第1部門，1996。

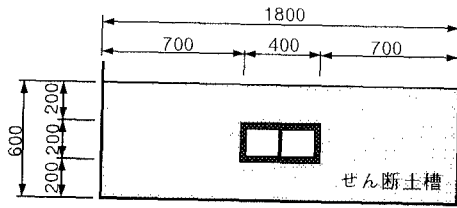


図1 模型設置位置図 (単位: mm)

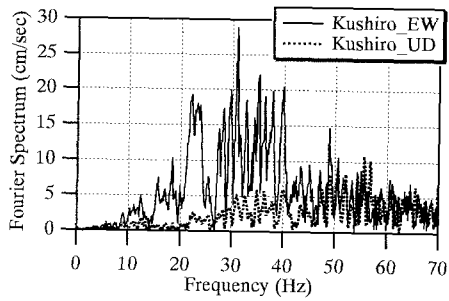


図2 入力加速度のフーリエスペクトル (釧路波)

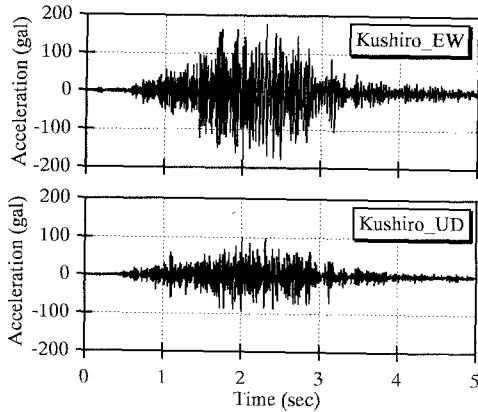


図3 入力加速度の時刻歴波形 (釧路波)

表1 最大曲げモーメントと水平に対する比、低減率

		Kushirow EW	水平に 対する比	Kushirow EW+UD	水平に 対する比
模型1	側壁上コーナー	114.80	1.000	127.60	1.111
	(免震層	98.43	1.000	110.20	1.120
	なし)	125.40	1.000	140.10	1.117
	隔壁下コーナー	67.59	1.000	75.19	1.112
	隔壁上コーナー	64.27	1.000	71.72	1.116
	頂版外コーナー	108.50	1.000	121.50	1.120
模型2	側壁上コーナー	41.82	1.000	45.73	1.093
	(免震層	57.92	1.000	69.76	1.204
	あり)	66.68	1.000	78.90	1.183
	隔壁下コーナー	41.49	1.000	45.36	1.093
	隔壁上コーナー	34.82	1.000	38.37	1.102
	頂版外コーナー	41.33	1.000	46.79	1.132
断面力	側壁上コーナー	0.364		0.355	
	低減率	0.568		0.633	
	(模型2/	0.532		0.563	
	底版外コーナー	0.614		0.603	
	隔壁下コーナー	0.542		0.535	
	隔壁上コーナー	0.381		0.385	
	頂版外コーナー				

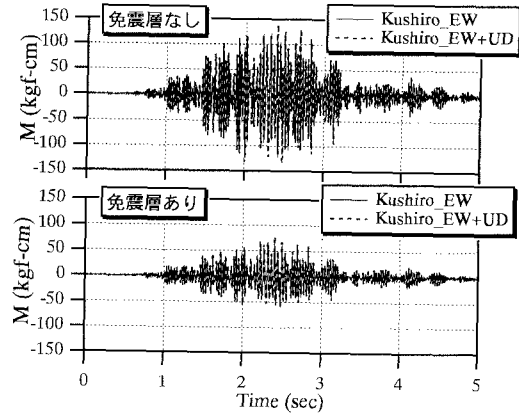


図4 曲げモーメントの応答波形 (釧路波、底版外側コーナー)

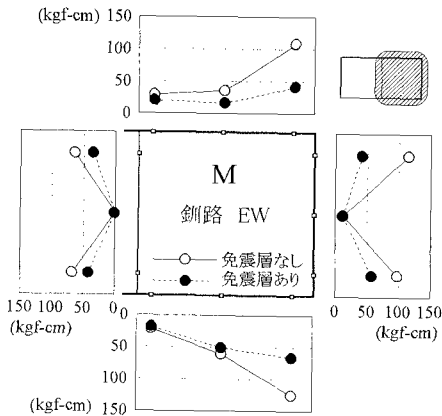


図5 曲げモーメントの最大値分布 (水平方向加振)

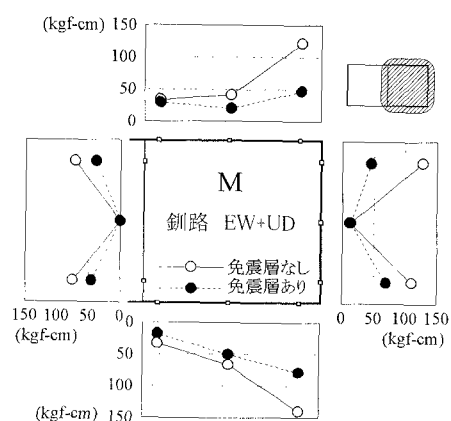


図6 曲げモーメントの最大値分布 (水平・上下方向加振)