

I-525

シールドトンネル覆工の長手方向の耐震性に関する模型載荷実験

—— 二次覆工のない場合 ——

東京湾横断道路(株) 正員 三 木 克 彦
建設省 土木研究所 正員 杉 田 秀 樹
同 上 正員 加 納 尚 史
大 成 建 設(株) 正員 〇志 波 由紀夫

1. はじめに

本実験は、リング継手構造の違いがシールドトンネル覆工の長手方向の地震時挙動(破壊性状、耐力、変形性能等)に及ぼす影響について調べることを目的として、実施したものである。

2. 実験概要

リング継手構造として、次の3種類を検討した。

①ダクティル金具・通常ワッシャー方式

図-1に示すダクティル(FCD50)金具と通常のメタルワッシャー(厚さ6mm)の組合せで、継ぎボルトにはM18(強度区分8.8)を使用。

②ダクティル金具・弾性ワッシャー方式

①と同じ金具を用い、図-2に示すように、2枚のメタルワッシャーの間に弾性ワッシャーを挿入したもの。弾性ワッシャーは、エポキシ樹脂を主体とした合成樹脂をワッシャー状に成形したもので、弾性係数 $2.09 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、降伏耐力 1106 kg/cm^2 (ワッシャー総体としては 8.76 ton)、圧縮強度 1662 kg/cm^2 (同 13.17 ton)である。継ぎボルトは①と同じ。

③長尺送りボルト方式

金具は用いず、図-3に示すように、ボルトボックス間のコンクリート(厚さ400mm)を長尺ボルトで直接締め付ける方式。継ぎボルトには、ひずみ計測の都合上、M20(強度区分8.8)を溝切り加工して断面積をM18に合わせたものを使用。ワッシャーとしては、120mm角、厚さ14mmのラージワッシャー(ボルト支柱部保護のため)とメタルワッシャー(厚さ6mm)を併用。

供試体としては、図-4に示すように、長さ90cmのセグメント模倣6ピースを5個のリング継手により接合したものとした。なお、二次覆工の施工を前提に、ボルトボックスはモルタルで充填した。

供試体への載荷は、供試体の一端を固定し他端を加振機に連結して、加振機によりトンネル長手方向の軸力を載荷した。載荷方式は変位制御の正負交番載荷とし、供試体の破壊まで載荷を行った。

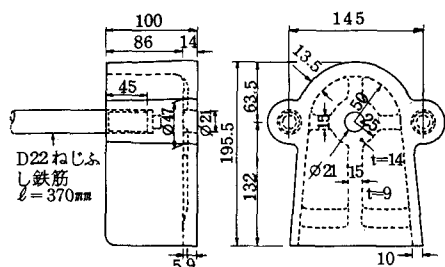


図-1 ダクティル金具

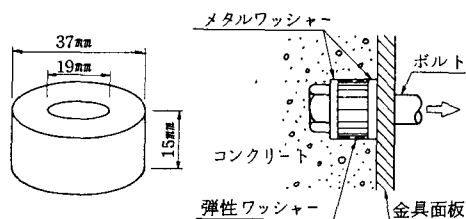


図-2 弾性ワッシャー

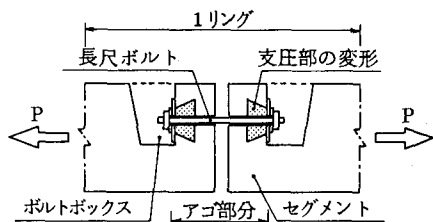


図-3 長尺送りボルト方式

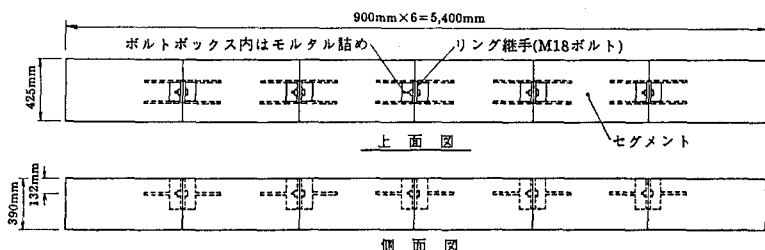


図-4 供試体の概要(ケース1)

3. 実験結果

実験結果の概要を表-1にまとめた。また、荷重～供試体変位の履歴ループの包絡線を、図-5に示す。

(1) いずれの継手方式でも、ボルトのネジ切り部分が破断した。弾性ワッシャー方式では、弾性ワッシャーも圧壊した。ダクタイル金具には大きな変形は生じなかった。また、長尺送りボルト方式のボルトボックス部分を含め、セグメントコンクリートにはクラック等の損傷は見られなかった。

(2) 終局耐力はいずれの継手方式も18ton程度で、リング継ぎボルトの破断耐力に対応している。

(3) 引張剛性の大きい順に並べると、①ダクタイル金具・通常ワッシャー方式、②長尺送りボルト方式、③ダクタイル金具・弾性ワッシャー方式、となる。変形能(終局変位)は、この順に小さい。

4. リング継手の剛性評価手法について

実験結果に基づき、既往の剛性評価手法について検討した結果、以下のことがわかった。

(1) 図-6に示すように、ダクタイル金具・通常ワッシャー方式では、2方向梁モデル¹⁾、1方向梁モデル²⁾とも、計算上の剛性はいくつかの履歴ループの立上がりの勾配に近いが、剛性の変化する荷重が実験値よりも小さく評価されている。本実験に用いた金具のように面板がU字形に拘束されている場合には、面板を梁よりも有孔円板にモデル化した方が、実験結果との対応が良い。

(2) ダクタイル金具・弾性ワッシャー方式では、弾性ワッシャーの計算上の剛性および降伏荷重が実験値よりも小さく評価された。弾性ワッシャーがコンクリート中に埋め込まれる場合には、弾性ワッシャーの側方変形がコンクリートによって拘束されることを考慮する必要がある。

(3) 長尺送りボルト方式では、ボルトの変形のみを考えて計算した剛性が、実験値よりもやや大きく評価された。これは、ボルト支圧部分のコンクリートの圧縮変形(図-3参照)が無視できない大きさになるため、この変形を、面板およびワッシャーの圧縮性を評価する方法¹⁾と同様にして評価することにより、実験結果との対応を改善することができた。

5. まとめ

3種類のリング継手方式について載荷実験を行い、シールドトンネル覆工の長手方向の地震時挙動を調べた。金具方式の継手の剛性評価法については、さらに検討する必要がある。なお、本実験は、東京湾横断道路(株)と建設省土木研究所との共同研究として実施したものである。

参考文献

- 1) 小泉・村上・西野：シールドトンネルの軸方向特性のモデル化について、土木学会論文集 第394号/III-9、pp.79～88、1988年6月
- 2) 川島、大日方、志波、加納：シールドトンネルの耐震性に関する研究 —— (その2) 覆工の軸剛性の非線形性を考慮したシールドトンネルの動的応答解析 ——、土木研究所資料 第2277号、1985年12月

表-1 実験ケースおよび実験結果概要

ケース No.	リング継手方式	破壊形態	降伏耐力*		終局耐力		割線剛性 (ton/mm)	
			耐力 (ton)	変位 (mm)	耐力 (ton)	変位 (mm)	変位 1mm	変位 5mm
1	ダクタイル金具 通常ワッシャー方式	ボルト破断	15	6	17.6	19.2	8.7	2.8
5	ダクタイル金具 弾性ワッシャー方式	ワッシャー・ボルト破断	14	11	18.8	55.3	5.1	2.0
7	長尺送りボルト方式	ボルト破断	16	9	18.3	23.2	5.9	2.3

*: 明確な降伏点ではなく、剛性低下の変化が比較的大きい点の概略値

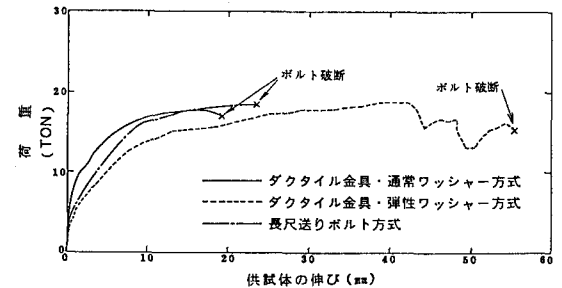


図-5 載荷履歴ループの包絡線

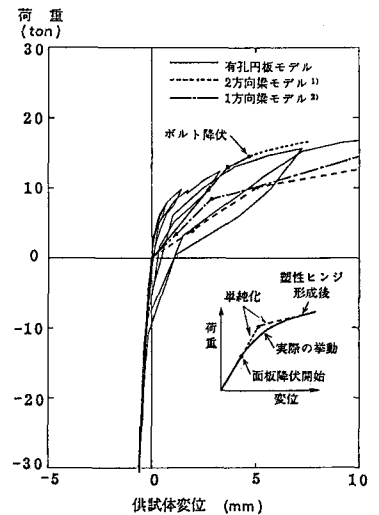


図-6 剛性評価手法による計算値と実験結果との比較(ケース1)