

ハニカムセグメントリング載荷試験 - 横断方向耐震性能確認 -

大阪市交通局

大阪市交通事業振興公社

奥村組

正 隅野洋治 正 中谷孝司

正 太田 拓 正 坂東克巳

正 荒川賢治 正 岡本 啓

1. まえがき

筆者らは前報で示した条件のハニカムセグメント耐震設計で、横断方向については二次元動的解析を実施し、レベル2地震動に対する安全性を照査した。しかし、ハニカムセグメントの高軸力下における継手部の耐力（レベル2地震動対応）を実証した事例はないので、横断方向耐震性能を確認する目的で実物リング載荷試験を実施した。その結果について述べる。

2. 試験方法

リング載荷試験は、レベル2地震時設計（二次元動的解析を適用）でハニカムセグメント継手部に発生する最大断面力（曲げモーメント、軸力）を試験供試体に導入し、継手部の設計安全性を照査するとともに、供試体が破壊するまで荷重を増加させ、破壊荷重（耐力）および継手部の挙動を確認した。荷重導入方法は図-1に示すように、2PRの軸力を導入した後、図中に示す位置に荷重Ph2を載荷し所定の継手位置（図中の負曲げ継手部）に曲げモーメントを発生させた。導入した荷重ステップを表-1に示す。試験装置、試験体は図-2、写真-1に示す通りである。実際のリング載荷試験は、セグメント2リングを平組にし、PC鋼より線（2本×2リング=4本）で軸力を均等に2リング分導入した後、リング内の1基の油圧ジャッキを用いて1リング分の曲げ荷重を導入する手順で実施した。

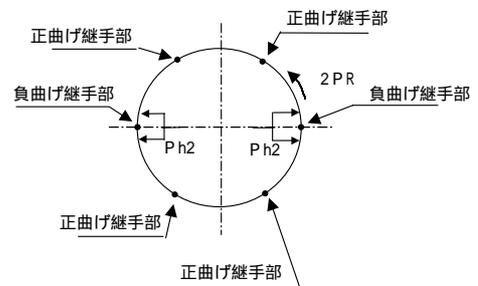


図-1 荷重導入方法

表-1 荷重ステップ

ステップ	1リング導入荷重 (kN / ring)			継手部導入曲げモーメント (kN・m)	備考
	導入軸力 N	曲げモーメント導入荷重 Ph2	軸力導入荷重 2PR		
STEP-1	1,109.5	0	1,109.5	0	軸力のみ載荷
STEP-2	1,109.5	331.2	1,109.5	209.3	地震時設計断面力
STEP-3	1,109.5	364.7	1,109.5	230.5	設計破壊レベル
STEP-4	1,109.5	617.2	1,109.5	390.1	最終荷重

3. 試験結果

図-3にセグメント内空変位-曲げモーメント関係を示す。セグメントを剛性一様リングとしたときの計算値も併記している。

これより曲げモーメント約150kN・m以下では剛性一様リングとほぼ同様の変位となっていることがわかる。曲げモーメント約150kN・m以上から約250 kN・m以下では内空変位-荷重はやや非線形性を示した。設計モーメント（209.3 kN・m）設計耐力（230.5 kN・m）はこの範囲内にある。曲げモーメント約250kN・m以上

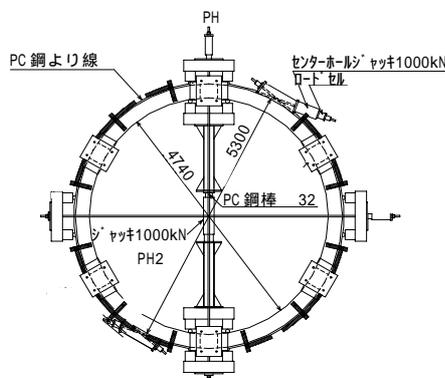


図-2 試験装置

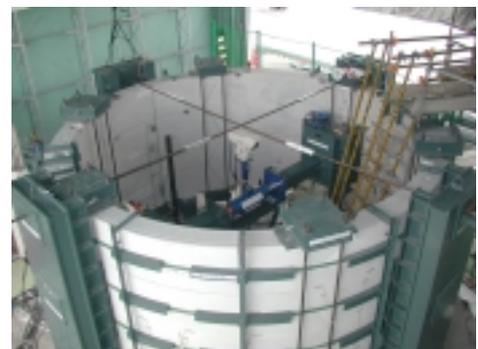


写真-1 試験体

キーワード：ハニカムセグメント、シールドトンネル、リング載荷試験、レベル2地震動、地中構造物、継手

連絡先：〒545-8555 大阪府大阪市阿倍野区松崎町2-2-2 TEL 06-6625-3569 FAX 06-6623-7699

からは内空変位の増加割合が大きくなり、内空変位 - 曲げモーメント関係は強い非線形性を示した。最大モーメント（最大荷重）では内空変位 $X = 64.1\text{mm}$ 、内空変位 $Y = 44.9\text{mm}$ で両者の差は 19.2mm となった。試験最大モーメント $= 390\text{kN}\cdot\text{m}$ に対し、設計耐力 $= 230.5\text{kN}\cdot\text{m}$ であり約 1.7 倍の耐力が確認された。図 - 4 にボルト応力 - 曲げモーメント関係を示す。設計で設定している、継手ボルトを鉄筋とみなした RC 断面としたときのボルト応力を併記している。約 $120\text{kN}\cdot\text{m}$ 以下ではボルト部初期締付力によりボルト軸力は増加しない。約 $120\text{kN}\cdot\text{m}$ 以上になるとボルト軸力が発生しはじめた。設計モーメント ($209.3\text{kN}\cdot\text{m}$) での平均軸応力は $335\text{N}/\text{mm}^2$ 、設計耐力 ($230.5\text{kN}\cdot\text{m}$) では $346\text{N}/\text{mm}^2$ となった。約 $210\text{kN}\cdot\text{m}$ 、約 $250\text{kN}\cdot\text{m}$ 、約 $300\text{kN}\cdot\text{m}$ で段階的にボルト応力の増加割合が大きくなった（非線形性が強くなる）。RC 断面とした計算結果と比較すると約 $300\text{kN}\cdot\text{m}$ 以上 ~ 最終荷重までの勾配とほぼ平行になっていることがわかる。これは曲げモーメントが約 $300\text{kN}\cdot\text{m}$ 以上になると RC 断面と同様の挙動をすることを示している。セグメント間の拘束の強い約 $300\text{kN}\cdot\text{m}$ 以下の段階では「継ぎ手部のせり合い（くさび状の連結状態）によりリング方向曲げモーメントが継ぎ手斜辺の接線方向曲げモーメントと斜辺の法線方向曲げモーメントに分散される」というハニカムセグメント設計法で示されている考え方¹⁾に対応している。すなわち約 $300\text{kN}\cdot\text{m}$ 以下の段階では、せり合い効果により RC 断面で想定されるボルト応力より発生応力は小さくなる。荷重レベルが大きくなり継ぎ手部のせり合い効果が小さくなると RC 断面とした応力とほぼ同じ応力が発生する。

いずれにしてもハニカムセグメントの継手部は継手ボルトを鉄筋とみなした RC 断面耐力の約 2.0 倍の耐力を有していることがわかる。図 - 5 に継手部を RC 断面としたときの終局曲げモーメント - 軸力関係と試験結果から得られた曲げ耐力 - 軸力関係を示す。設計で用いた動的解析の結果も併記している。軸力 0 の試験結果は別途実施した継手曲げ試験の結果である。ハニカムセグメントは設計で想定している軸力の変動に対して十分安全な耐力を有していることがわかる。

4. まとめ

載荷試験で得られたハニカムセグメントの耐力は設計耐力の 1.7 倍であり、レベル 2 地震動に対する耐震安全性は確認された。継手ボルト応力の計測結果から、継手ボルトを鉄筋とみなした RC 断面の終局耐力をもとに設定した耐力は十分安全側の値となることが確認された。

[参考文献]

1) (財) 先端技術センター, 先端建設技術・技術審査証明報告書ハニカムセグメント, pp. 140 ~ 144, 平成 9 年 3 月

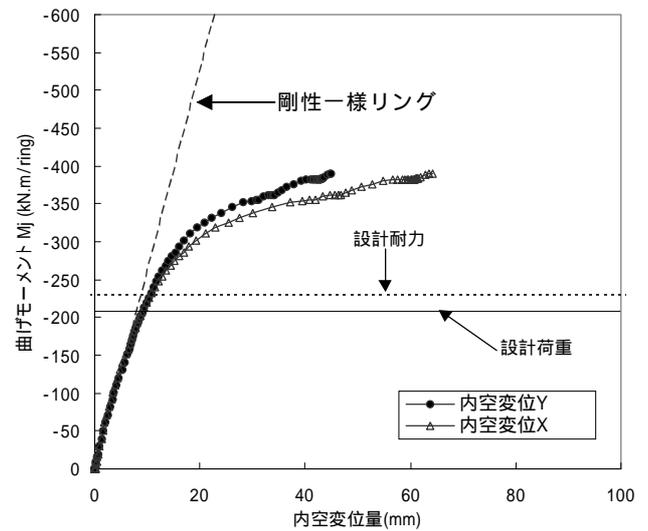


図 - 3 曲げモーメント - 内空変位関係

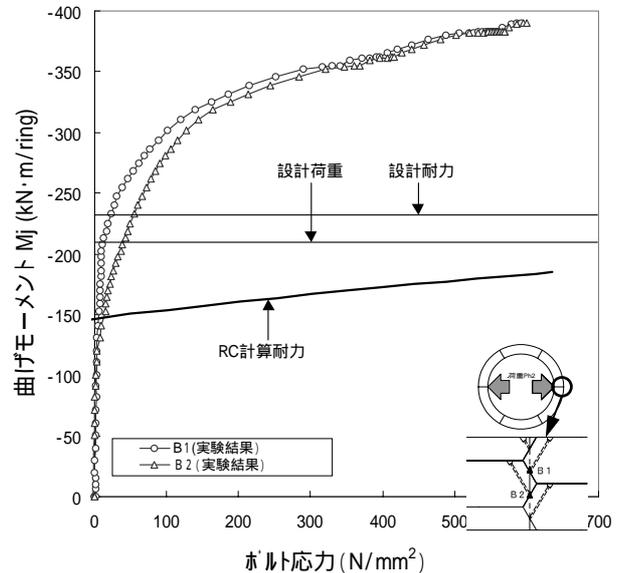


図 - 4 曲げモーメント - ボルト軸力関係

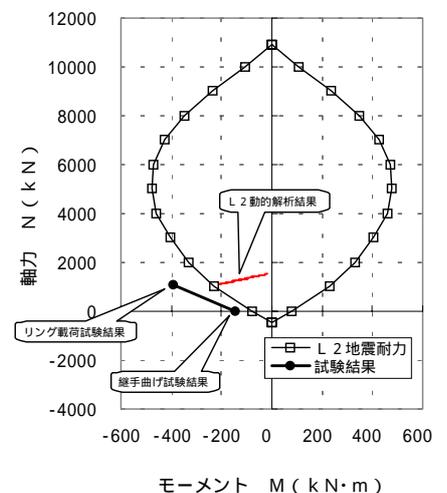


図 - 5 曲げモーメント - 軸力関係