

Ⅲ-544

東京都心部の大深度地下における多目的トンネルに関する調査研究(その4)

一連続地中壁エレメント間継手の曲げ特性一

(株)熊谷組 正会員 岩波 基
早稲田大学 学生会員 大西 進
西松建設(株) 黒崎 克彦
早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

大都市部において、掘削深度が50mより深く床付けが自立性の高い地盤まで達するような大深度の立坑は施工実績が少ない。このため、立坑壁に作用するに側圧や立坑壁の挙動に関する計測データもほとんどない状況にある。50mを超える大深度立坑では、その断面形状は円形が合理的と考えられるが、設計は中浅深度における円形立坑に対するそれを準用している現状にある。現在、円形立坑壁の設計は、立体的な円形立坑をその横断面方向と縦断面方向とに分け、前者は多角形のラーメン構造で、後者は梁構造でモデル化し、これに主働のおよび受動的荷重を作用させて弾性または弾塑性解析を行う場合が多い。円形立坑連壁の挙動を再現するには三次元シェルモデルが最も適していると考えられるが、これでは、連壁継手部の面外曲げと面外せん断に対する構造モデルの評価方法がまず問題となる。

本研究は連続地中壁工法による大深度円形立坑壁の挙動を表現することのできる解析モデルについて検討したものであり、特に連壁継手部の面外曲げに対する曲げ特性を模型実験を基に評価したものである。

2. 実験概要

図1は、連壁の継手部分を想定した試験体を示したもので、実際の連壁の1/5~1/7の力学模型を考えている。試験体は継手板と重ね継手およびスタッドを持つ継手構造のもの(剛結継手と呼ぶ)、継手板とスタッドを持つもの(ヒンジ継手と呼ぶ)およびこれらとの比較を行うための継手なしのもの、計3種類各3体であり、これらに純曲げ荷重を載荷し実験を行った。実験に使用したコンクリートの物性および鉄筋、継手板の寸法を表1に示す。

コンクリートの設計基準強度は240kgf/cm²、鉄筋はSD295、スタッドはSR235、継手板はSS41を使用した。なお、試験体は実際の施工状況を考慮して、型枠中を比重1.01のポリマー泥水で満たし、泥水中で打設して作製した。

表2は試験結果と*)抵抗モーメントの計算値を示したものである。

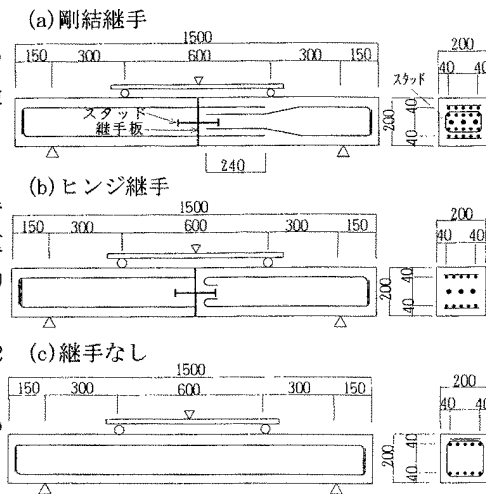


図1 供試体

表1 試験体物性

名称	コンクリート		鉄筋		スタッド		継手版
	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	種類	種類	長さ (mm)	弾性係数 (kgf/cm ²)	
剛結継手1	269	1.90×10^5	5-D6	3-φ8	145	2.03×10^6	200×200 t=6
剛結継手2	269	1.90×10^5	5-D6	3-φ8	145	2.03×10^6	200×200 t=6
剛結継手3	269	1.90×10^5	5-D6	3-φ8	145	2.03×10^6	200×200 t=6
ヒンジ継手1	269	1.90×10^5	5-D6	3-φ8	145	2.03×10^6	200×200 t=6
ヒンジ継手2	269	1.90×10^5	5-D6	3-φ8	145	2.03×10^6	200×200 t=6
ヒンジ継手3	269	1.90×10^5	5-D6	3-φ8	145	2.03×10^6	200×200 t=6
継手なし1	269	1.90×10^5	5-D6	—	—	—	—
継手なし2	269	1.90×10^5	5-D6	—	—	—	—
継手なし3	269	1.90×10^5	5-D6	—	—	—	—

表2 試験結果および抵抗モーメント

名称	試験結果		
	最大荷重 (kgf)	最大モーメント (kgf・cm)	抵抗モーメント (kgf・cm)
剛結継手1	6800	102000	61700
剛結継手2	6970	104550	61700
剛結継手3	7000	105000	61700
ヒンジ継手1	1300	19500	13500
ヒンジ継手2	1610	24150	13500
ヒンジ継手3	1710	25650	13500
継手なし1	9800	147000	—
継手なし2	9380	140700	—
継手なし3	9400	141000	—

(※)抵抗モーメントは、大深度土留め設計・施工指針(案)に従い算定した。

3. 変形挙動と破壊形態

(1) 剛結継手のケース

剛結継手のケースは荷重の初期段階から継手板に沿ったひび割れが生じ、継手なしの試験体と比較して鉛直変位および継手部の目開き角（ π ゲージで測定）がともに大きな値を示した（図2、3参照）。荷重3000kgf（15000kgf・cm）付近で継手部以外の純曲げ区間にも曲げひび割れが発生し、最終的には荷重7000kgf（105000kgf・cm）程度で、これらの曲げひび割れが重ね継手部に伸びて付着が切れ破壊した。

(2) ヒンジ継手のケース

ヒンジ継手のケースも(1)と同様に荷重初期から継手板に沿ったひび割れが発生したが、剛結継手のケースよりも継手による曲げ剛性の低下が顕著であった（図2、3参照）。荷重500kgf（4500kgf・cm）程度から変位、目開き角ともに増加し、最終的には荷重1500kgf（22500kgf・cm）付近で、スタッドに沿ったひび割れが生じて、スタッドが抜け出て破壊した。

4. 目開き角の実験結果と解析結果との比較および考察

ひび割れ幅の計算値は剛結継手のケースではコンクリート標準示方書に従い式(4.1)で、また、ヒンジ継手のケースでは式(4.1)に手を加えた式(4.2)によって求めた。継手部の目開き角はこれらのひび割れ幅を用いて式(4.3)より算出した。

$$\omega = \kappa \{4c + 0.7(C_s - \phi)\} \cdot \sigma_{se} / E_s \quad \cdots \cdots (4.1)$$

$$\omega = l_s \cdot \sigma_{se} / E_s \quad \cdots \cdots (4.2)$$

$$\theta = \omega / (d - x) \quad \cdots \cdots (4.3)$$

ここで、 ω ：ひび割れ幅、 κ ：鉄筋の付着性状を示す定数（=1.0）、 c ：かぶり、 C_s ：鉄筋間隔、 ϕ ：鉄筋直径、 σ_{se} ：鉄筋応力度の増加量、 E_s ：鉄筋の弾性係数、 l_s ：スタッド長、 θ ：目開き角、 d ：鉄筋の有効高さ、 x ：中立軸の位置である。

剛結継手、ヒンジ継手のそれぞれのケースの目開き角の実験値と解析値を図3に示す。剛結継手のケースでは、載荷モーメントが抵抗モーメントに至るまでは解析値が実験値をよく説明しているが、その後は、鉄筋の定着が不十分となるため両者は一致しない。ヒンジ継手のケースは、抵抗モーメントの半分程度になるまでは、式(4.2)により実験値を説明できるが、その後は、定着するコンクリートの変形と部分的破壊により両者に違いが生じる。

5. 終わりに

今回の実験および解析によって、連続地中壁継手部の低荷重時の目開き角の推定は可能となったが、高荷重時の推定が課題として残った。今後は、この課題を解決していくとともに、載荷モーメントと目開き角との関係を回転ばねとして構造モデルに取り入れて、大深度立坑のより合理的な設計モデルの確立を目指していく予定である。なお、この研究は、早稲田大学理工学総合研究センター、「大深度地下インフラに関する調査研究」プロジェクトの一環として行われたものである。

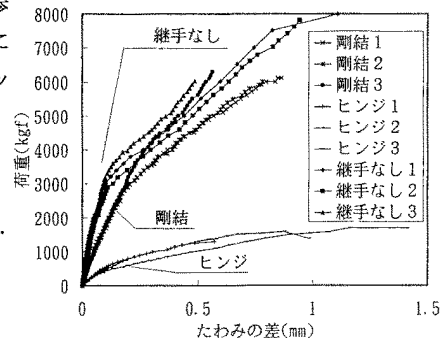
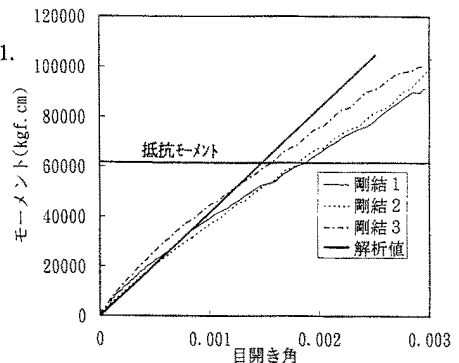
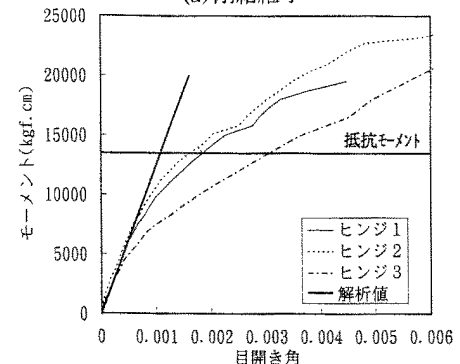


図2 載荷点と中央とのたわみの差



(a) 剛結継手



(b) ヒンジ継手

図3 目開きの実験値と解析値の比較