

# スライド型コッター式セグメントの 実施工に向けての実験的検証

## Experimental verification towards real construction of a slide type cotter formula segment

山田 倫<sup>1)</sup>・北川 滋樹<sup>1)</sup>・野田 賢治<sup>1)</sup>・森 孝臣<sup>2)</sup>

Hitoshi YAMADA, Shigeki KITAGAWA, Kenji NODA and Takaomi MORI

Large Depth Underground Use is one of the future main direction of social infrastructure construction, and this background assigns the important role to the shield tunneling method. However, its application into large depth underground requires the development of long-distance high-speed construction technology, improvement in the durability of lining, cost curtailment, etc. -- We developed the new segment using the direction insertion type cotter formula joint of an axis (slide cotter) aiming at improvement in the speed, cost curtailment, and the formation of inside flat and smooth. This paper describes that the satisfactory result of practical examination for the aptitude to real construction of this new segment. In the concrete, the joint bending examination was carried out on the load conditions near the actual size assembly examination (3,650mm of segment outer diameters) and real construction by the shield system.

**Key Words:** shield tunnel, bolt-less joint, omission of secondary

### 1. まえがき

大深度地下利用は、今後の社会資本整備の方向性の一つとして捉えられており、これを実現するためにシールド工法は重要な役割を担っている。しかし、その適用にあたっては、長距離高速施工技術の開発、覆工体の耐久性の向上、コスト縮減などを推進する必要がある。このような現状を背景として、高速化・内面平滑化・コスト縮減を目指し、軸方向挿入型コッター式継手(スライドコッター)を用いた新しいセグメントを開発した。この新しいセグメントの実施工への適性を評価するために、筆者らはシールド実機による実物大組立試験(セグメント外径 3,650mm)及び設計に近い荷重条件で継手曲げ試験を実施し、良好な結果が得られたのでここに報告する。

### 2. セグメント概要

スライドコッターセグメントには、相対するセグメント継手面にT型金物とC型金物がそれぞれ配置されており、リング継手には、ワンタッチ式のクイックジョイントを採用している(図-1)。

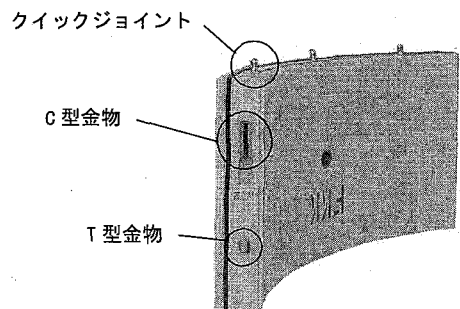


図-1 スライドコッターセグメント概要図

1) 正会員 前田建設工業(株) 土木本部土木部  
2) 正会員 フジミ工研(株) セグメント技術部

この継手の締結原理は、1/20 のテーパを持つT型金物をC型金物に挿入すると、C型内部にあるくさび片下部反力材の反発力により初期締結力が導入される仕組みとなっている。(図-2) この反力材にはポリウレタンゴムを用い、セグメントリング組立後、地山とのなじみにより目開きが閉じた時、ゴムの復元力によりくさび片を押し戻し、締結力を保持する。また、このくさび片のスライド量で製作誤差と施工誤差を吸収する構造となっている。

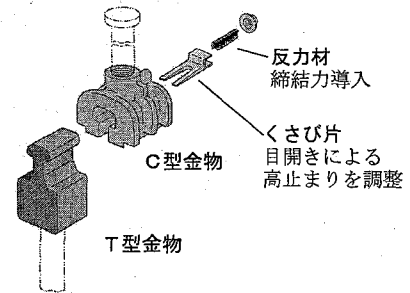


図-2 継手構造概要図

本セグメントの特徴は、次の通りである。

- ・リング継手とセグメント継手が同時に締結されるため、組立時間が大幅に短縮される。
- ・エレクター操作だけで組立ができ、締結作業が不要なため、省力化が図れる。
- ・継手がトンネル内面に露出しないため、耐久性が向上し内面が平滑となる。
- ・高速施工・省人化・二次覆工省略・穴埋め工の省略により、コストダウンが可能である。

### 3. 作業性の確認

#### (1)試験概要

本セグメントの作業性を検証するためにシールド実機を用いたリング組立試験を行った。試験は、外径 3,780mm の泥土圧式シールド機を用いて行った。試験架台にシールド機及びガイドとなるセグメントリングを設置し、エレクターにより把持から締結までの一連の動作を1リング組立完了まで行う。試験の概要を図-3 に示す。

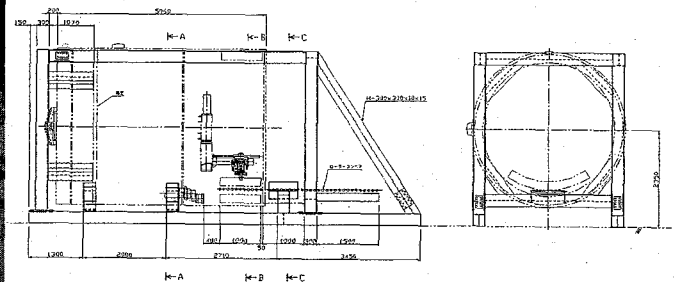
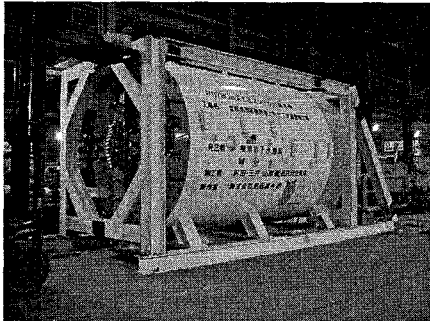


図-3 実物大リング組立試験概要図

本セグメントの組立手順を図-4 に示す。スライドコッターセグメントのT型金物とC型金物、さらにはリング継手が、それぞれガイドになり、セグメントは自ずから所定の位置に収まり、セグメント間、リング間ともに軸方向への送り込みと同時に締結が完了する。

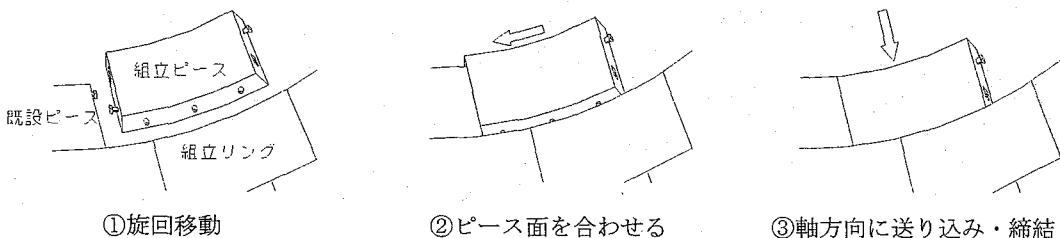


図-4 スライドコッターセグメント組み立て手順図

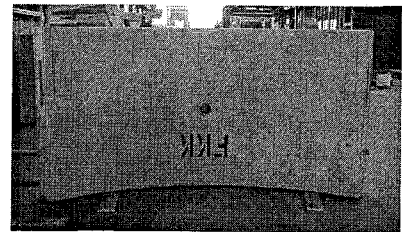
## (2) 確認項目

- ・セグメントの挿入・締結動作の作業性
- ・組立時のシール材への影響(剥がれ・損傷の有無)
- ・リング組立作業サイクルタイム
- ・真円度の計測

## (3) 試験結果

締結動作は非常にスムーズであった。試験当初はサイクルタイムに対し、位置合わせの時間が大きく占めていたが、繰り返し試験を行った結果、作業員の慣れにより、位置合わせに要する時間の短縮が図られ、最終的に組立時間は12分31秒であった。なお、この数値はA2セグメントを組んだ状態からの計測数値であるためリング当たりのサイクルタイムは15分/Ring程度であると考えられる。また、この試験の結果より、位置合わせを自動化することにより、より一層の時間短縮に寄与するものと思われる。

組立精度は、設計値を基準に水平鉛直それぞれ平均+2mm、+1mmであり十分な組立精度が得られた。また、シール材の剥離、損傷は認められなかった。



セグメント外径 : 3,650mm  
セグメント厚さ : 200mm  
分割数 : 6分割

図-5 試験体

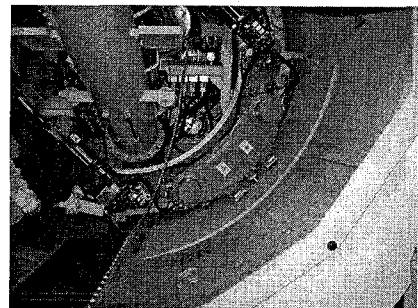


図-6 実物大リング組立試験状況

## 4. 継手曲げ試験 (正曲げ)

### (1) 試験体および試験方法

継手の強度・剛性・破壊性状を確認し、十分な性能を有することを実証することを目的に実物大の継手曲げ試験を実施した。また、軸力が作用した場合の継手剛性の把握を目的とした軸力導入継手曲げ試験を実施した。

載荷方法は、外径φ3,650mm、厚さ200mm、幅1,000mm、6分割のAセグメント2ピースを水平に組み立て、中央部2点載荷とする。支承部は両端可動とする(図-7)。載荷ステップはひび割れ発生まで5kN、それ以降は10kNピッチとし、測定項目は、ひび割れ発生状況、変位およびひずみ、破壊荷重とする。

試験は、締結力による継手曲げ性能への影響とシール材を有する場合の継手の曲げ性能を把握することを目的に、表-1のケースを設定した。なお、締結力は反力材の反発力によることから、その硬質ゴムとコイルスプリングの2ケースとした。また、軸力導入継手曲げ試験では、CASE-3と同条件の試験体に、100kNピッチで300kNまでの軸力をPC鋼より線にて作用させるケースを設定した。設定した使用材料定数及び許容応力度を表-2に示す。

表-1 継手曲げ試験ケース一覧

| CASE | 反力材         | シール材 |
|------|-------------|------|
| 1    | スプリング(締結力小) | なし   |
| 2    | A-95(締結力大)  | なし   |
| 3    | A-95(締結力大)  | あり   |

表-2 使用材料定数および許容応力度一覧

| 項 目                        |                        | 設定値<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| コンクリート<br>$\sigma_{ck}=48$ | 許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$  | 18                          |
|                            | ヤング係数 $E_c$            | $39 \times 10^3$            |
| 鉄筋<br>SD345                | 降伏点応力度 $\sigma_{sy}$   | 345                         |
|                            | 許容引張応力度 $\sigma_{sa}$  | 200                         |
|                            | 許容圧縮応力度 $\sigma_{sa}'$ | 200                         |
|                            | ヤング係数 $E_s$            | $210 \times 10^3$           |
| 铸铁<br>FCAD<br>-900-8       | 降伏点応力度 $\sigma_{sy}$   | 600                         |
|                            | 許容引張応力度 $\sigma_{sa}$  | 240                         |
|                            | 許容圧縮応力度 $\sigma_{sa}'$ | 290                         |
|                            | ヤング係数 $E_s$            | $170 \times 10^3$           |
| T型金物<br>8.8相当              | 降伏点応力度 $\sigma_{ty}$   | 660                         |
|                            | 許容引張応力度 $\sigma_{ta}$  | 290                         |
|                            | ヤング係数 $E_t$            | $210 \times 10^3$           |
| アンカー筋<br>10.9相当            | 降伏点応力度 $\sigma_{sy}$   | 940                         |
|                            | 許容引張応力度 $\sigma_{sa}$  | 380                         |
|                            | ヤング係数 $E_s$            | $210 \times 10^3$           |

## (2) 試験結果

表-3に試験結果を示す。試験結果より十分な強度を有していることが確認された。いずれも破壊形態は、継手金物降伏による圧縮側コンクリートの圧壊であった。

表-3 継手曲げ試験（正曲げ）試験結果

|           | CASE-1      |             | CASE-2      |             | CASE-3      |             |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|           | 計算値<br>(kN) | 実測値<br>(kN) | 計算値<br>(kN) | 実測値<br>(kN) | 計算値<br>(kN) | 実測値<br>(kN) |
| ひび割れ発生荷重  | —           | 44.1        | —           | 44.1        | —           | 40.0        |
| 設計荷重      | 44.1        | —           | 44.1        | —           | 44.1        | —           |
| 破壊荷重      | 108.9       | 126.0       | 108.9       | 120.0       | 108.9       | 122.0       |
| 設計荷重に対する比 | 2.9         |             | 2.7         |             | 2.8         |             |

## (3) 回転バネ定数

曲げモーメントと継手開口角の関係を図-9示す。図中の継手開口角は継手面の目開き量から求めたものである。回転バネ定数は設計曲げモーメントにおける勾配より算定した。

シール材を有する CASE-3 では、シール材による初期目開き

表-4 正曲げモーメントと継手開口角の関係

|        | 設計M<br>(kN・m) | 設計M時点でのM/θ<br>(kN・m/rad) |
|--------|---------------|--------------------------|
| CASE-1 | 23.18         | 4,100                    |
| CASE-2 | 23.18         | 3,700                    |
| CASE-3 | 23.18         | 4,000                    |

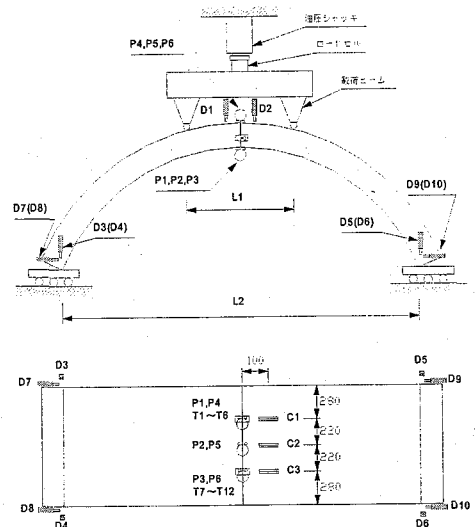
が低荷重載荷時点において閉じたため、補正を行い初期目開きによる開口角を取り除いた。この試験では軸力を作用させていないため、締結力の有無による初期剛性の違いが明確に現れた。CASE-2と同様に締結力を導入した CASE-3 では、前述の理由により、低荷重載荷時点で継手が離間しており初期剛性が認められなかった。なお、設計モーメント載荷時点における曲げモーメントと開口角の比は 3,700~4,100kN・m/rad と概ね一定した値を得た。

軸力を作用させた場合の曲げモーメントと継手開口角の関係を図-10に示す。作用させた軸力が大きいほど、初期剛性が大きくなることが分かる。M/θの推移はトリリニアな推移を示している。また、回転バネ定数を荷重偏心量と関連させて整理したものを、図-11に示す。

荷重偏心量が h/2 を超える領域において、導入軸力に関わらず回転バネ定数は 5,100~6,300kN・m/rad の範囲であり、軸力による差異は見られなかった。

表-5 導入軸力別正曲げモーメントと開口角の関係

|      | 設計M<br>(kN・m) | 導入軸力<br>(kN) | M/θの勾配<br>(kN・m/rad) |
|------|---------------|--------------|----------------------|
| ケース1 | 23.18         | 0            | 5,900                |
| ケース2 | 30.91         | 100          | 5,100                |
| ケース3 | 38.39         | 200          | 6,300                |
| ケース4 | 45.67         | 300          | 5,500                |



| 測定項目 |             | 測 点 |        |       |
|------|-------------|-----|--------|-------|
| 変位   | 鉛直変位量       | 6点  | D1～D6  |       |
|      | 水平変位量       | 4点  | D7～D10 |       |
|      | 継手部開口量      | 内径側 | 3点     | P1～P3 |
|      |             | 外径側 | 3点     | P4～P6 |
| ひずみ  | コンクリート(外径面) | 3点  | C1～C3  |       |
|      | T型金物        | 12点 | T1～T12 |       |

図-7 継手曲げ試験（正曲げ）試験概要図

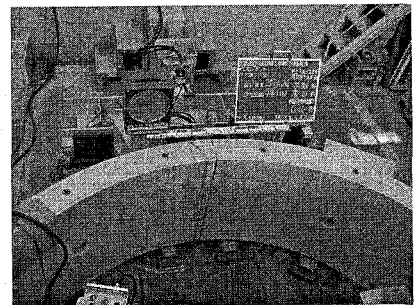


図-8 継手曲げ試験（正曲げ）状況

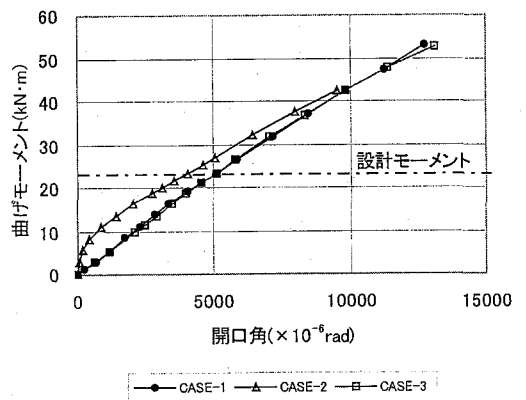


図-9 M-θ図（軸力が作用しない場合）

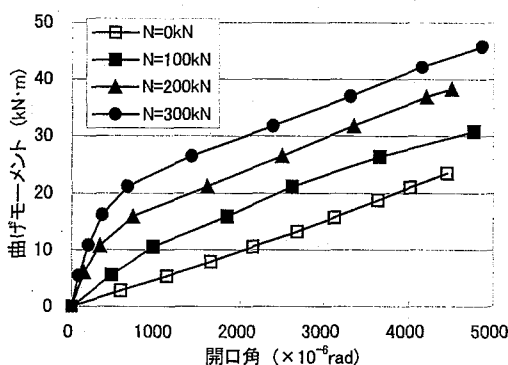


図-10 M-θ図 (軸力が作用した場合)

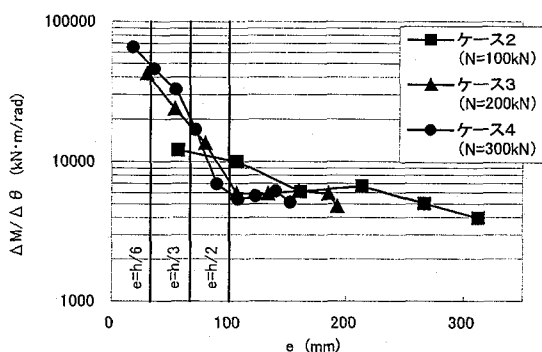


図-11 荷重偏心量と  $M/\theta$  の関係

## 5. 継手曲げ試験 (負曲げ)

### (1) 試験体および試験方法

正曲げ試験と同様の試験体及び条件を設定して試験を実施した。

### (2) 試験結果

表-6に試験結果を示す。試験結果より十分な強度を有していることが確認された。いずれも破壊形態は、継手金物降伏による圧縮側コンクリートの圧壊であった。

表-6 継手曲げ試験 (負曲げ) 試験結果

|           | CASE-1   |          | CASE-2   |          | CASE-3   |          |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|           | 計算値 (kN) | 実測値 (kN) | 計算値 (kN) | 実測値 (kN) | 計算値 (kN) | 実測値 (kN) |
| ひび割れ発生荷重  | —        | 36.0     | —        | 24.0     | —        | 24.3     |
| 設計荷重      | 24.3     | —        | 24.3     | —        | 24.3     | —        |
| 破壊荷重      | 68.4     | 76.5     | 68.4     | 77.0     | 68.4     | 77.0     |
| 設計荷重に対する比 | 3.1      |          | 3.2      |          | 3.2      |          |

### (3) 回転バネ定数

曲げモーメントと継手開口角の関係を図-14示す。図中の継手開口角は継手面の目開き量から求めたものである。回転バネ定数は設計曲げモーメントにおける勾配より算定した。シーリング材が圧縮領域にないことと、有効高が小さいことから条件の違いによる差がほとんど認められなかった。

表-7 曲げモーメントと継手開口角の関係

|        | 設計M<br>kN·m | 設計荷重時点での $M/\theta$<br>(kN·m/rad) |
|--------|-------------|-----------------------------------|
| CASE-1 | 23.18       | 900                               |
| CASE-2 | 23.18       | 800                               |
| CASE-3 | 23.18       | 800                               |

軸力を作用させた場合の曲げモーメントと継手開口角の関係を図-15、設計モーメント載荷時点の  $M/\theta$  を表-7に示す。

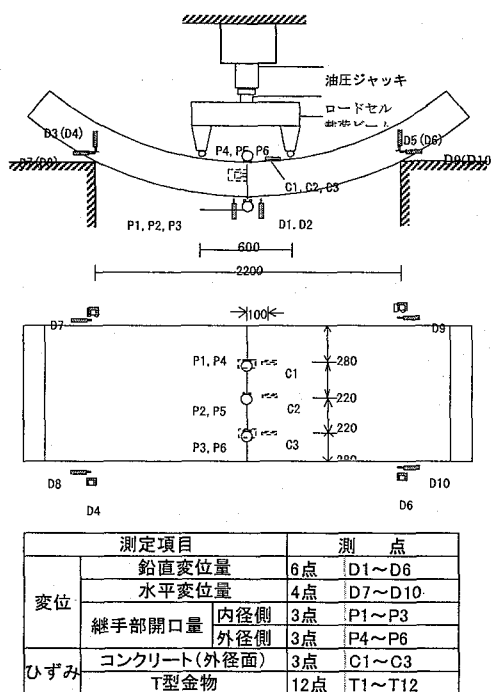


図-12 継手曲げ試験 (負曲げ) 概要図

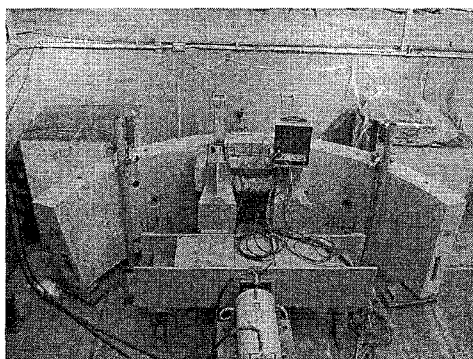


図-13 継手曲げ試験 (負曲げ) 状況

表-8 曲げモーメントと継手開口角の関係

|      | 設計M<br>(kN・m) | 導入軸力<br>(kN) | M/θの勾配<br>(kN・m/rad) |
|------|---------------|--------------|----------------------|
| ケース1 | 9.71          | 0            | 1,400                |
| ケース2 | 16.56         | 100          | 1,000                |
| ケース3 | 20.95         | 200          | 1,000                |
| ケース4 | 25.93         | 300          | 1,300                |

有効高の小さいことからかバイリニアな推移を示している。各軸力毎の設計モーメント載荷時点における  $M/\theta$  は、1,000~1,400kN・m/radと概ね一定した値を示している。また、回転バネ定数を荷重偏心量と関連させて整理したものを、図-16に示す。

荷重偏心量が  $h/3$  を超える領域において、導入軸力に関わらず回転バネ定数は 1,000~1,400kN・m/rad の範囲にあり軸力による差異は見られなかった。

## 6. まとめ

試験結果をまとめると次の通りである。

- ①1 リング当たりの組立サイクルタイムは15分であり、同規模の従来式コッターセグメントの組立時間20分と比較して約25%の時間短縮となった。今後予定されている実施工にでの組立サイクルタイムを計測する予定である。
- ②十分な組立精度が得られたが、自重のみ作用した場合の測定結果であり、実施工において土水圧の作用した場合の真円度を計測する予定である。
- ③セグメントは十分な耐力を有しており、シール材、締結力は耐力に影響を及ぼさない。
- ④曲げモーメントと継手開口角の比は離間後においては条件に依らず一定した値が得られた。今後、理論的に  $M/\theta$  を求める手法について、課題として取り組む所存である。

## 7. 参考文献

- 1) (財) 先端建設技術センター：地下河川（シールドトンネル）内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説シールドトンネル
- 3) (社) 日本下水道協会：シールド工事用標準セグメント

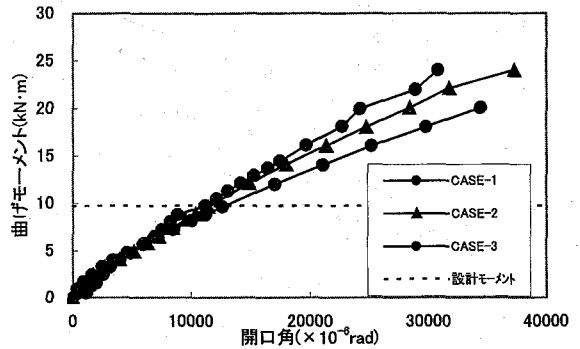


図-14 M-θ相関図（負曲げ：軸力なし）

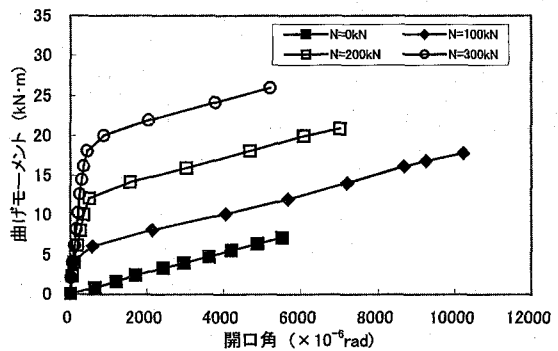


図-15 M-θ相関図（負曲げ：軸力作用時）

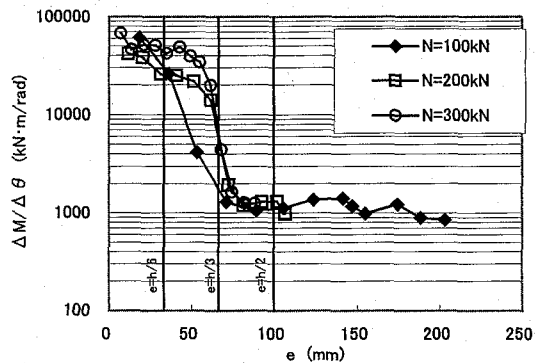


図-16 荷重偏心量と  $M/\theta$  の関係