

円弧状隅角部を持つ矩形コンクリートセグメントの設計と載荷試験結果

谷口徹¹・請川誠²・多田幸司³・中川浩二⁴

¹正会員 戸田建設(株)本社土木技術開発室 (〒104-0032 東京都中央区八丁堀4-6-1)

²正会員 工修 戸田建設(株)本社土木技術開発室 (〒104-0032 東京都中央区八丁堀4-6-1)

³正会員 工博 戸田建設(株)本社土木設計室 (〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1)

⁴正会員 工博 山口大学工学部社会建設工学科教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2557)

近年、非円形シールド掘削機の開発が活発に行われている。この主な理由は、道路、鉄道、電力洞道などのトンネルにおいては、使用時のトンネル内空形状が矩形であることが多く、余分な掘削空間を削減することができるためである。シールド工法においては、シールド機と共にセグメントも重要な要素であり、機能性および経済性を備えた矩形セグメントが望まれている。本文は、従来のハンチを持ったセグメントに対し、隅角部に曲がり梁の設計手法を取り入れた矩形コンクリートセグメント（CRセグメント）を設計し、実物大の供試体を製作し、継手試験とリング載荷試験により性能を確認したので報告する。

Key Words: shield tunneling method, box shield, experimental operation, segment rounded corner, curved beams, ring load test

1. まえがき

シールド工法は、昭和30年代後半からの本格的な採用以来、急速な進歩を遂げ、現在では、特に都市部のトンネル建設に大きな役割を果たしている。昨今では、大規模な地下河川や東京湾横断道路での採用に見られるように、用途の拡大ならびに大断面化、作業環境の改善、安全性の追求から自動化・ロボット化が大きな流れとなっている。さらに、地下の輻輳化および地価の高騰により、用途に応じた最適な断面の掘削方法も社会のニーズとなっている。

このような状況に対して、近年トンネル掘削断面を供用時の必要断面にできるだけ近づけることを目的とした矩形シールド機の開発がみられる¹⁾。トンネルを使用する施設として、電力洞道、地下鉄、道路などがあるが、必要とする内空断面は矩形でありながら、円形断面のシールドトンネルを使用しているのが現状である。これは、密閉式で矩形断面を掘削できる技術が確立されていないことが原因であり、本来は、矩形断面のトンネルを使用した方が合理的である場合がしばしばみられる。矩形断面は円形断面と異なり、縦横比を変えることが可能であり、上

部用地の買収費低減や近接構造物との離隔をより大きく取ることができるという利点がある。さらに、掘削断面積を縮小することができるため、最近問題となっているシールド工事で発生する建設残土を低減することも可能となる。

矩形シールド工法を確立するためには、掘削機械だけでなく、シールド工事においてコストに大きな割合を占めるセグメント（トンネル覆工体）の開発も重要である。電力洞道などに用いられた従来の矩形セグメントは、矩形ラーメン構造として断面力を算定すると、曲げモーメントが卓越して軸力が小さい分布となる。特に、隅角部に大きな負の曲げモーメントが発生することが多い。大きな負の曲げモーメントは、セグメント外周部に引張応力を生じ、その結果、ひび割れ、漏水などをもたらす可能性があるため極力避けることが望ましい。一般的に、隅角部に発生する大きな曲げモーメントおよびせん断力に対する設計を比較的容易に行うためハンチを設けた設計方法が採用されており、隅角部における応力伝達を円滑にする効果をもっている。また、ハンチの影響を考慮するとスパンモーメントを低減することが可能となる。この設計方法に対し、山岳トンネ

ルの矩形断面におけるトンネル周辺応力の研究²⁾と同様な考え方にに基づき、矩形セグメントの隅角部を円弧で結びコーナーをラウンドさせた形状にすると(コーナーラウンドセグメント;以下CRセグメントと呼ぶ)、ハンチをもった構造に比べ隅角部に発生する負の曲げモーメントやせん断力がさらに低減するとともに、スパン中央に発生する正の曲げモーメントも低減することが試算の結果明らかとなった。CRセグメントの採用により、従来の方法で設計したセグメントに比べ部材厚さを薄くできるため、より経済的になるばかりか、掘削断面積も縮小することができる。

本文は、CRセグメントの特長となる隅角部を円弧状にすることにより生じる問題と円弧部を曲がり梁として取り扱う設計法の妥当性を確認するために、実物大の矩形セグメントを製作し、継手曲げ試験およびリング載荷試験を実施して検討したので、その結果について報告する。

2. CRセグメントの設計

(1) 曲がり梁の応力度

CRセグメントは、矩形セグメントの隅角部を円弧状にすることにより、隅角部を力学的に連続した曲がり梁と考えて設計するものである。図-1において曲げモーメントMと軸力Nが曲がり梁に作用した時、任意の点rにおける軸方向の応力度は次式³⁾にて表される。

$$\sigma = N/A + M(r_0/r - 1)/eA$$

ここで、A: 断面積

$$r_0 = A / \int (1/r) dA$$

$$r_g = 1/A \cdot \int r dA$$

$$e = r_g - r_0$$

上式からrを変数とすると応力分布は、双曲線分布となる。特に、梁断面が矩形(幅b、厚みh)の場合、

$$A = b \cdot h$$

$$r_0 = h \cdot (\ln(r_2) - \ln(r_1))$$

$$r_g = r_1 + h/2$$

となる。断面を矩形として曲げモーメントのみが作用した場合、横軸に r_1/h をとり、内側縁応力度 σ_1 と外側縁応力度 σ_2 を直梁の σ_1' 、 σ_2' と比較したものを図-2に示す。

$$\sigma_1 = N/A + M(r_0/r_1 - 1)/eA$$

$$\sigma_2 = N/A + M(r_0/r_2 - 1)/eA$$

この図からもわかるように、内側縁応力度における σ_1/σ_1' は部材の厚みhに対して小さい半径 r_1 をとるにつれて急激に増加し、外側縁応力度にお

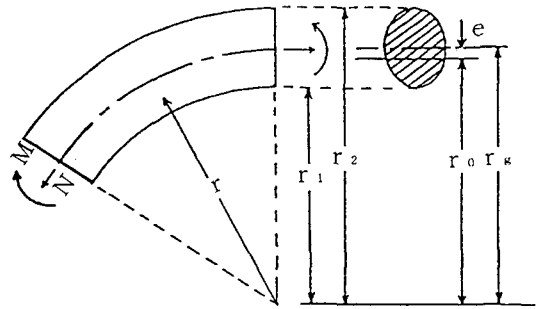


図-1 曲がり梁

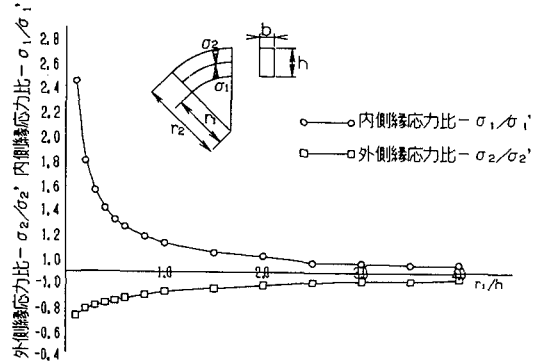


図-2 r_1 と σ_1/σ_1' 、 σ_2/σ_2' の関係

る σ_2/σ_2' は減少する。逆に、 r_1 を大きくしていくと曲がり梁は直梁に近づくため、 σ_1/σ_1' および σ_2/σ_2' は1に近づく。このように曲がり梁は、半径 r_1 と部材厚hの比によって、縁応力度が大きく異なる。 r_1/h を2.0~3.0程度とると、直梁に比べて内側縁応力の割り増しは、15~20%程度になる。

また、種々の供用断面を検討した結果、 r_1/h を2.0~3.0とした場合、供用時に必要な内空断面にはほとんど影響がない。

(2) コーナーラウンドの有効性

CRセグメントの応力分布性状を把握するために、内空径2.5m×3.3m、部材厚さ250mm、土被り6mを想定し、図-3に示す荷重条件で内側半径 r_1 と断面力の関係について検討した。この荷重条件において、隅角部の内側半径 r_1 を変化させた場合の最大正・負曲げモーメントと軸力をグラフに表すと図-4に示す通りとなる。この図に示すように、隅角部の内側半径 r_1 を大きくしていくと隅角部に発生する負の最大曲げモーメント(Mmax-)およびスパン中央部に発生する正の最大曲げモーメント(Mmax+)は共に低減する。

図-5は、横軸に隅角部の内側半径 r_1 、縦軸に $r_1=0$ mmでの最大曲げモーメント(Mmax $r_1=0$)

表-1 算定条件

土被り	6 m
地下水頭	6 m
土質	砂質土
土の単位体積重量	1.8 t/m ³
水中単位体積重量	0.8 t/m ³
側方土圧係数	0.5
上載荷重	1.0 t/m ²

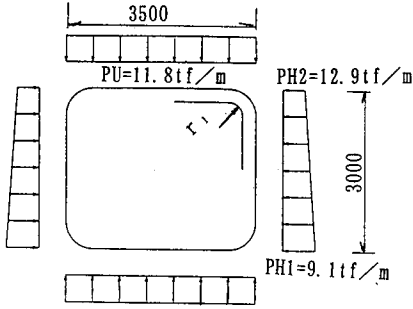


図-3 断面力算定モデル

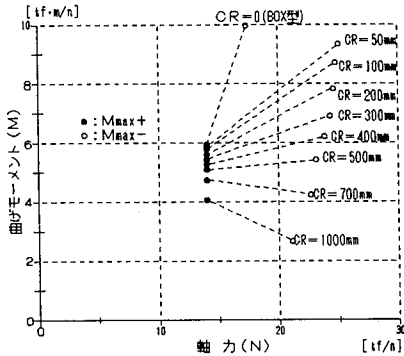


図-4 最大曲げモーメント (M) と軸力 (N)

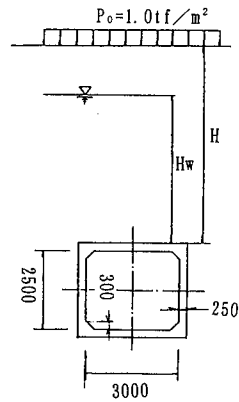


図-7 算定条件概要図

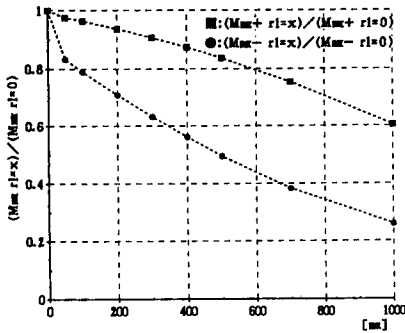


図-5 最大曲げモーメントの低減率と r_i の関係

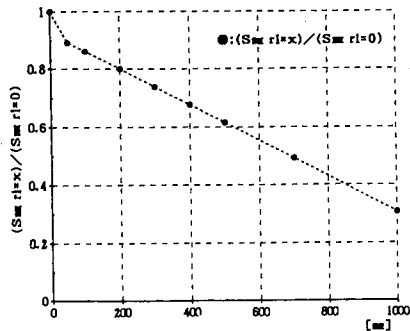


図-6 最大せん断力の低減率と r_i の関係

と $r_i = X$ mm での最大まげモーメント ($M_{max\ r_i = X}$) の比を示したものであり、図-6 は縦軸に $r_i = 0$ mm での最大せん断力 ($S_{max\ r_i = 0}$) と $r_i = X$ mm での最大せん断力 ($S_{max\ r_i = X}$) の比を示したものである。 r_i を大きくしていくと (M_{max-}) (S_{max}) が大幅に低減するため、部材厚、鉄筋量を低減することが可能となることが示唆される。

(3) 断面力の比較

隅角部にハンチを設けた従来の方法で設計した矩形セグメントは、隅角部で部材軸方向が異なる。このため、隅角部では局部的に応力度の集中を招く。隅角部の応力状態に対する研究⁴⁾は、鋼構造物やRC構造物に関連して数多く行われ、設計上簡略化した方法の確立がみられている。そこでは、設計上、隅角部は特別な部分として取り扱われることが多いが、一般には、隅角部にハンチを設けて大きな負の曲げモーメントやせん断力に対抗できる構造とされている。図-7、表-1 に示す条件下で従来の矩形セグメントとCRセグメントの断面力を算定し、比

(軸力) (曲げモーメント)

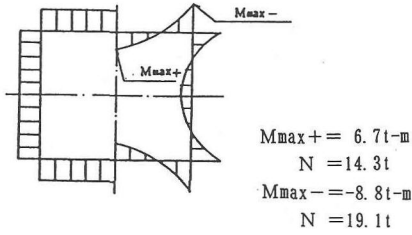


図-8 従来の矩形セグメント断面力図

(軸力) (曲げモーメント)

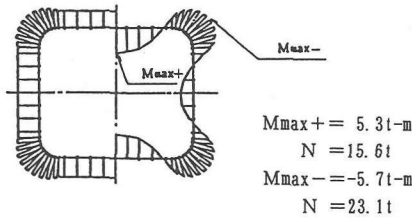


図-9 CRセグメント断面力図

較した。CRセグメントは内空径 2.5m× Φ 3.0m、部材厚さ250mmとし、図-2の結果より $r_1/h=2$ とし、 r_1 を500mmとした。算定した断面力を図-8、図-9に示す。CRセグメントの $M_{max-}=-5.7t-m$ に対し、従来の矩形セグメントの $M_{max-}=-8.8t-m$ であり、 M_{max-} は約35%低減することがわかる。この結果、従来の矩形セグメントの部材厚 300mmに対し、CRセグメントの部材厚は 250mmとすることができる。

3. CRセグメントの変形および剛性的実験的評価

(1) 試験目的

矩形セグメントも、円形セグメントと同様に、シールドトンネルを構成するセグメントリングは数個のセグメントピースをボルトなどで結合することによって組み立てられるとする。このセグメントリングは、継手部分における剛性がセグメント単体の剛性に比べて低下するため、剛性一様なリングに比べて変形しやすい。実際のセグメントリングは、千鳥組構造で組み立てられるため、このことによる添接効果が期待できる。この添接効果がどの程度のものであるかについての研究報告⁵⁾もなされている。こ

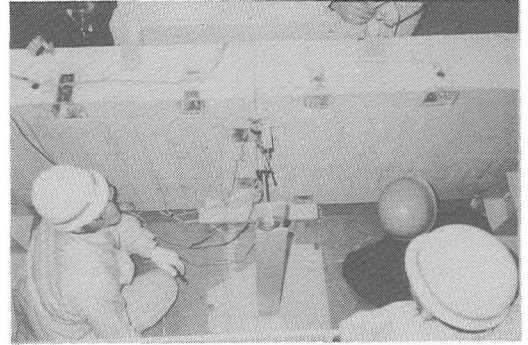


写真-1 継手曲げ試験状況

の添接効果を考慮するために、円形セグメントのリング載荷試験は複数リングを千鳥に組み立てて行われている⁶⁾。

本試験は、CRセグメントにおけるコーナーラウンドの性状、応力度の発生状況、継手部の挙動などを確認することを目的としている。試験方法は、従来の円形セグメント試験と同様に、千鳥組による添接効果を取り込んだリング載荷試験とした。また、リング載荷試験を行うにあたり、セグメント継手部の回転バネ定数を把握するために、要素試験として継手曲げ試験を行った。リング載荷試験における計算値はこの回転バネ定数を使用している。

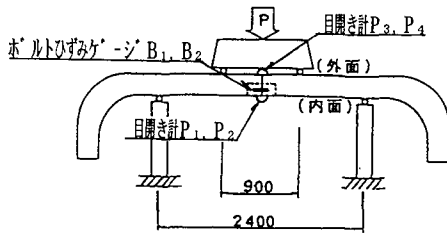
(2) 継手曲げ試験

CRセグメント継手部の破壊荷重や回転バネ定数など、継手の性能を確認するために、正・負の継手曲げ試験を行った。正・負曲げ二種類の試験を行う理由は、一般的にコンクリート製セグメントでは、ボルトを引張鉄筋とみなした鉄筋コンクリート断面として設計する⁷⁾ため、ボルトの取り付け位置が断面図心位置にないためである。試験状況を写真-1に、継手曲げ試験概要とボルトひずみゲージ B_1, B_2 および目開き計 $P_1 \sim P_4$ 位置を図-10に示す。2体のセグメントピースの継手面をボルト締結し、水平方向に2点載荷し、破壊まで載荷した。ボルトの初期導入力は、ボルトの許容応力度 $3000kgf/cm^2$ の80%にあたる $2400kgf/cm^2$ とした。

荷重-ボルト応力図を図-11に示す。内面の継手面が開き始め、ボルトの伸びと共に応力の増加が著しくなるのは、正曲げで8t、負曲げで4t程度である。その後、荷重-ボルト応力曲線の勾配はほぼ一定となり、継手面を単鉄筋断面として算出した計算値とよく合っている。

作用曲げモーメントと継手面の回転角との関係を

a. 正曲げ試験



b. 負曲げ試験

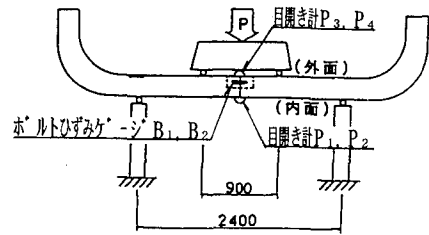


図-10 継手曲げ試験概要図

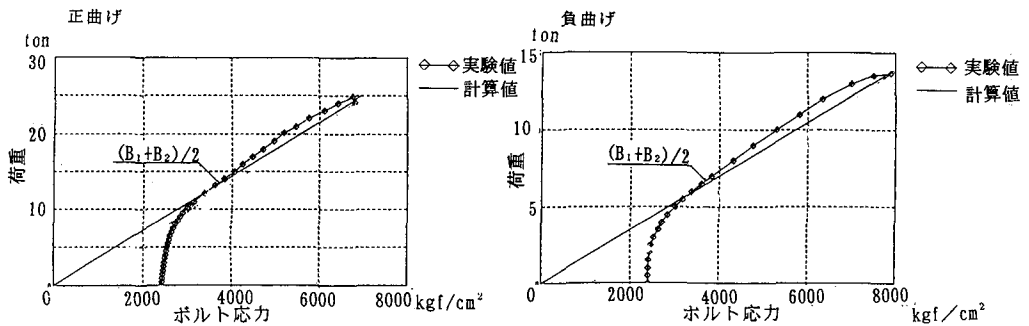


図-11 荷重-ボルト応力曲線図

(図中の直線は継手面を単鉄筋断面とした計算値)

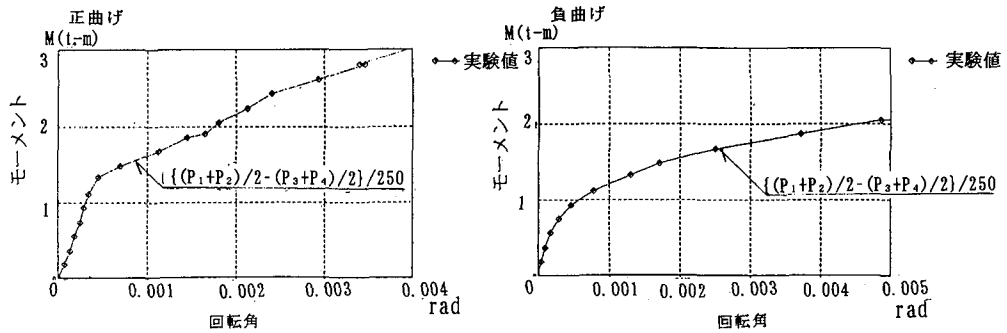


図-12 継手面回転角曲線図

図-12に示す。作用曲げモーメントと回転角との関係は、バイリニアアの関係と考えられ、回転バネ定数は、正曲げで $K_1=3000t \cdot m / rad$, $K_2=500t \cdot m / rad$, 負曲げで $K_1=2000t \cdot m / rad$, $K_2=350t \cdot m / rad$, 程度となる。リング載荷試験におけるハリバネモデルの計算値にはこれらの定数を使用した。

(3) リング載荷試験

a) 試験概要

セグメント供試体は、第2章に示す算定条件にて設計したものである。載荷試験には、内空径 2.5m

$\times 3.0m$, 部材厚さ250mmの5分割CRセグメントを使用した。図-13, 14にセグメント組立図およびセグメントピース配筋図を示す。試験状況を写真-2に示すが、幅1mの計測用セグメントリングを挟むように上下に幅0.5mのセグメントリングを千鳥組でボルト締結し、セグメント間の添接効果が現れる実際のセグメントリングの挙動に近い状態とした。試験装置を図-15に示すが、セグメント供試体は下のリング間継手面をスライドベース上に載せて、ローディングビームを介して、PC鋼棒をセンターホールジャッキにて緊張することにより

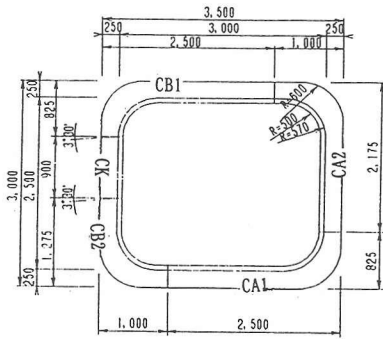


図-13 セグメントリング組立図

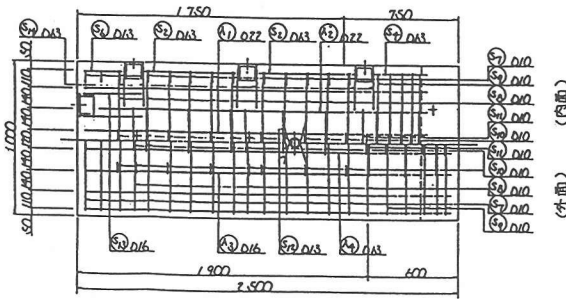


図-14 セグメントピース配筋図

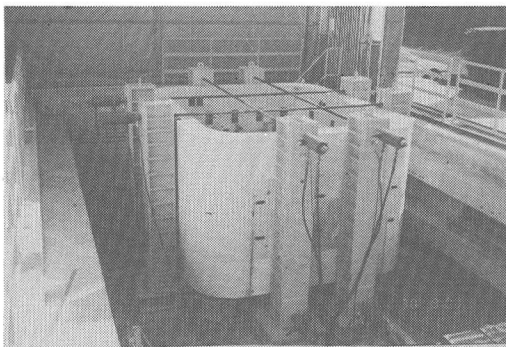


写真-2 リング載荷試験状況

水平載荷した。また使用材料の物性値を表-2に示す。

載荷パターンは実際に作用する荷重状態を想定し、 $P_1 : P_2 : P_3 : P_4 = 2 : 2 : 1 : 2$ とした。ジャッキに与える荷重は比例的に増加することとし、破壊まで行った。その他にも数パターン設定し初期ひびわれが発生した時点まで試験を行ったが、本文では本載荷パターンの試験結果について述べる。

以下本文で用いている計算値(剛性一様)は、セグメントリングを曲げ剛性の有効率 $\eta = 1$ 、曲げモーメントの割増率 $\xi = 0$ の剛性一様リングとして断面力を算定したものであり、計算値(ハリ一様)

載荷方法: 8点載荷(PC鋼棒による緊張力)

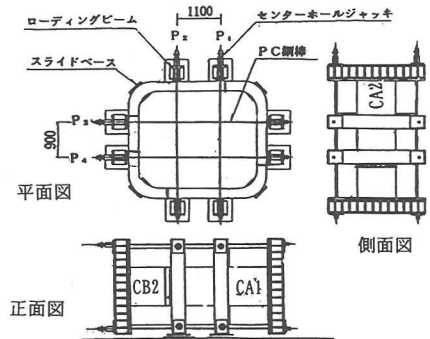


図-15 リング載荷試験概要図

表-2 材料の物性値

コンクリート圧縮強度	450kgf/cm ²
コンクリート弾性係数	3.5×10^5
鉄筋降伏応力度	3500kgf/cm ²
ボルト降伏応力度	9000kgf/cm ²

は、セグメントリングのセグメント間継手を回転バネ(回転バネ定数は継手曲げ試験結果を使用)として、リング間継手をせん断バネ(せん断バネ定数は剛として $K=100000t/m$ とした)として断面力を算定したものである。

b) 載荷時に生じる変位について

一般的に円形セグメントの設計は、セグメントリングを剛性一様リングとして考える方法が採用されていることが多い⁷⁾。この場合、セグメントリングの曲げ剛性の有効率 $\eta = 1$ として断面力を算定しており、過去の実績によりその妥当性が裏付けされている。CRセグメントの曲げ剛性の有効率 η は、円形セグメントの η と異なるものと考えられるため、載荷試験による変位より η を想定する。

本載荷パターンにおける荷重-変位(頂版部中央)曲線を図-16に示す。P1が5t程度までは剛性が高く、P1増分1tに対する変位の増加量は0.08mm/t程度であり、荷重に対する変位量の増加は小さい。しかし、荷重が大きくなりセグメント本体のひび割れによる剛性の低下および継手の目開き量の増加につれ、変位の増加量は0.45mm/t程度と大きくなり、剛性の低下がみられる。しかし、設計荷重レベルのP1=15tでは、頂版中央の変位量は3.1mm、最終荷

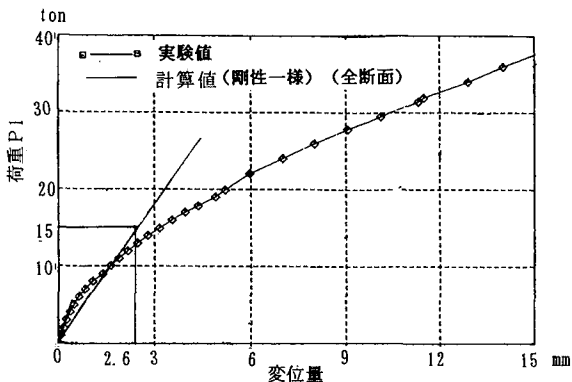


図-16 荷重-変位曲線図(頂版中央)

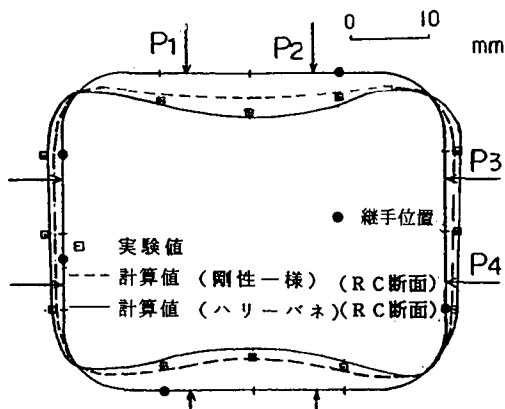


図-18 変位図 (P1=20 t)

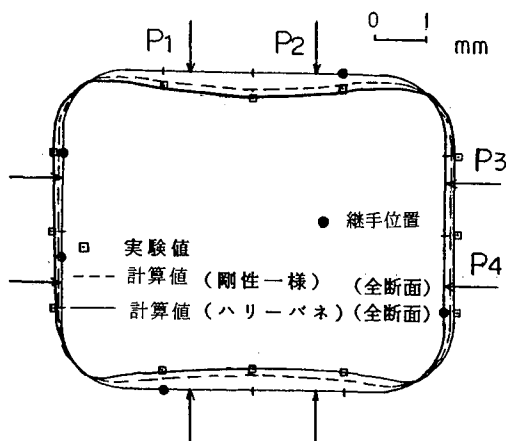


図-17 変位図 (P1=5 t)

ここに $\delta 1$: 頂版中央の変位量(計算値: 剛性一様)
 $\delta 2$: 頂版中央の変位量(実験値)

上式により設計荷重レベル 15tにおける曲げ剛性の有効率を算定すると、 $\delta 1=2.6\text{mm}$ 、 $\delta 2=3.1\text{mm}$ であり、荷重パターン1の時 $\eta=85\%$ 程度である。円形セグメントに関しては、一般に $\eta=60\sim 80\%$ であるとされている⁷⁾。

c) 荷重時に生じる応力度について

CRセグメント隅角部に生じる応力度より、各部分材軸方向に沿って断面力や変形に大きな変化がないことを検証する。CRセグメントの設計理論上、最も応力が大きく、CR部での力の連続性を確認する上で有効であると考えられる断面N06(図-22参照)に着目した。

荷重荷重に伴う円弧部N06断面の引張鉄筋の荷重-応力曲線を図-19に示す。荷重が低レベル(P1=12t程度まで)の範囲では、引張側のコンクリートの強度を発揮しており、引張鉄筋の応力負担も小さく、曲線の勾配も大きい。荷重が大きくなるにつれて引張側コンクリートのひび割れが進行する。これに伴い、中立軸が圧縮縁の方へ移行し、急激に応力の増加量が大きくなる(P1=12~16t)。P1=18t程度になると、中立軸はRC断面の中立軸近傍で落ち着き、P1=18~28tの間での曲線勾配はRC断面の計算値とほぼ一致している。

同様に、圧縮鉄筋の荷重-応力曲線を図-20に示す。初期レベルの荷重からRC断面の計算値とほぼ一致しており、降伏荷重あたりで勾配が大きくなっている。

圧縮コンクリートの荷重-応力曲線を図-21に示す。引張鉄筋と同様な経路をたどっており、引張鉄筋が降伏してからはコンクリートの応力負担が大きくなって曲線の勾配が小さくなる。

次に、CRセグメントの円弧部に発生した応力分

重P1=38tにおいても15.5mmであり大きくない。

これに対して、荷重パターン2においては、図示してはいるが、頂版部に軸力が作用せず、かつ継手部に大きな曲げモーメントが作用して継手の目開きも大きいため、設計荷重レベルのP1=10tで変位量は6.5mm、最終荷重P1=18tでは18.5mmとかなり大きい変位量となっている。

図-17、図-18は荷重パターン1におけるP1=5tとP1=20tにおける変位を示したものである。P1=5tではひび割れも発生しておらず、剛性も高く断面二次モーメントを全断面有効として算出した計算値とよく合う。しかしながら、P1=20tでは、既にひび割れが発生し、RC断面へ移行しており、断面二次モーメントをRC断面として算出した各計算値とよく合っている。計算値と各実験値は、概ね一致しており、実際のセグメントの変位量をシミュレートすることができると考えられる。

曲げ剛性の有効率 η を次のように定義すると、

$$\eta = \delta 1 / \delta 2 \times 100\%$$

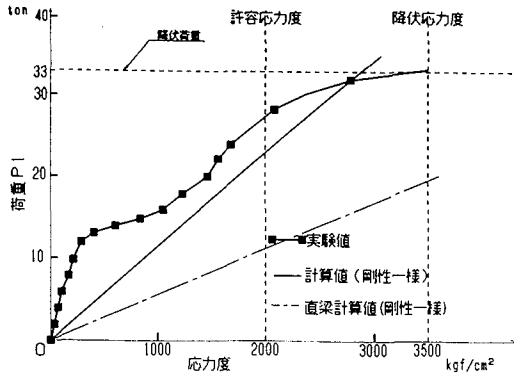


図-19 荷重-応力曲線図
(NO.6断面引張鉄筋)

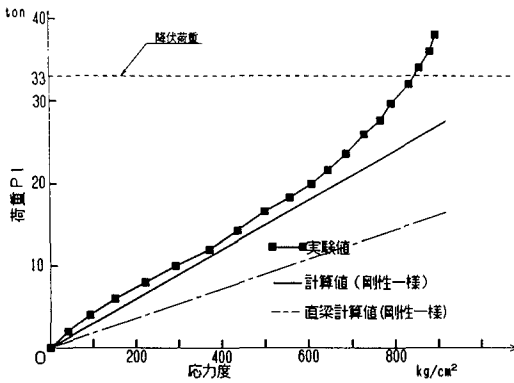


図-20 荷重-応力曲線図
(NO.6断面圧縮鉄筋)

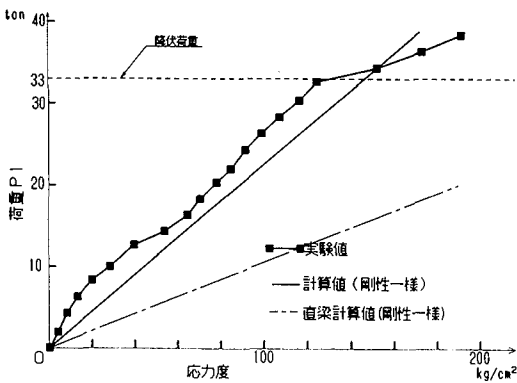


図-21 荷重-応力曲線図
(NO.6圧縮側コンクリート)

布を図-22~24に示す。断面NO.2~⑦に集中的に配置してあった歪計によると、鉄筋応力、コンクリート応力とも実験値は曲がり梁として算出した各々の計算値とほぼ一致している。言い換えれば、円弧部の曲げモーメントが矩形ラーメンにおけるモー

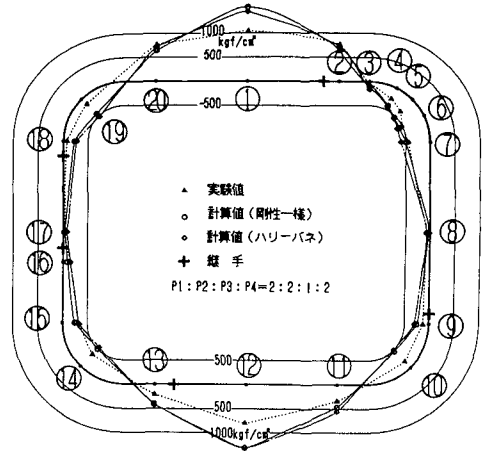


図-22 内側鉄筋 応力分布図 (P1=20 t)
(図中の番号①~・は計測断面番号)

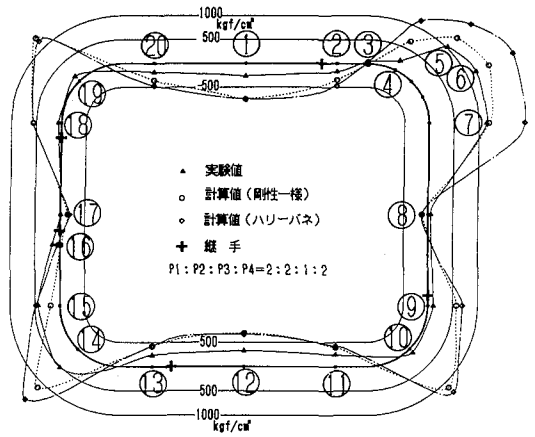


図-23 外側鉄筋 応力分布図 (P1=20 t)

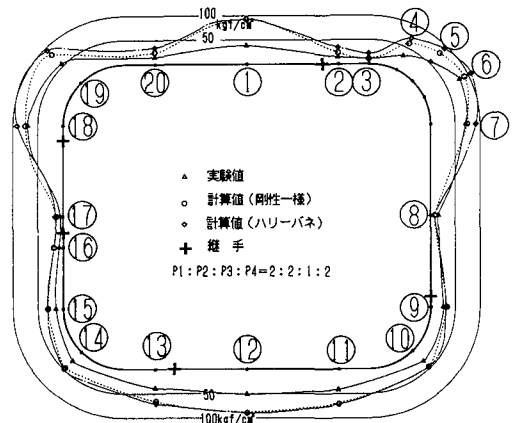


図-24 圧縮コンクリート 応力分布図 (P1=20 t)

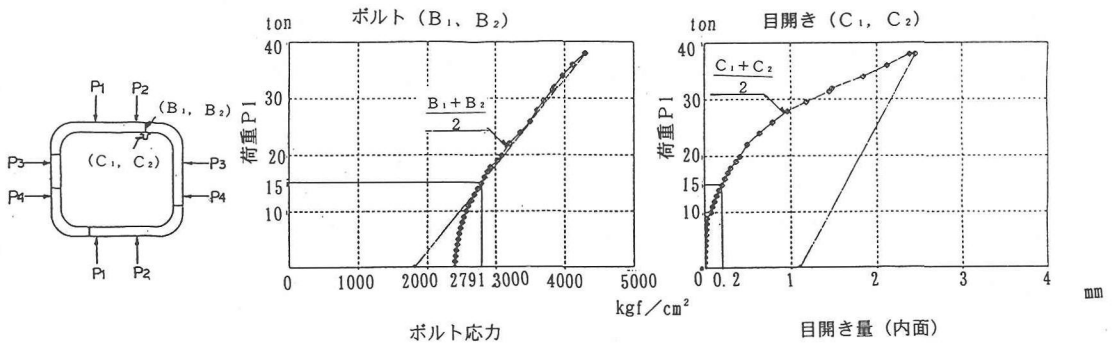


図-25 ボルト応力度と目開き量 (内面)

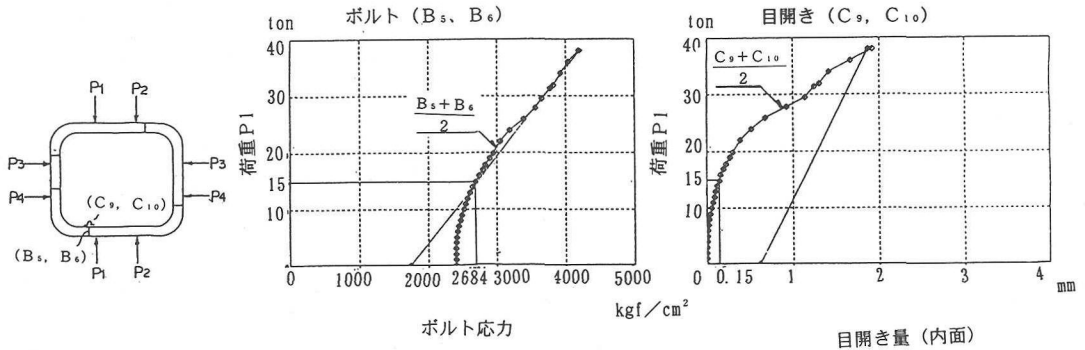


図-26 ボルト応力度と目開き量 (内面)

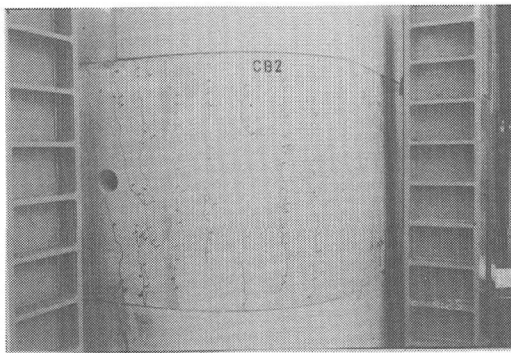


写真-3 円弧部のひびわれ状況

メントよりも低減されていると言える。また、写真-3に示すように円弧部外面には、部材内の応力分布状態が外側への移行することにより、配力筋に沿って等間隔にRC梁部材特有のひび割れが発生しており、円弧部は梁部材としての性質を持っていると言える。以上の実験結果より、隅角部を円弧状として軸線を連続させる効果が明らかであり、従来の矩形セグメントに比べ、より経済的な設計が必要とな

ると考えられる。

d) 載荷時に生じるボルト応力と目開き量について

荷重パターン1に伴い生じるボルト応力と目開き量により、継手ボルトによる応力伝達と継手面の止水性について検証する。頂版および底版の継手における荷重 P_1 に対するボルト応力と目開き量の関係を図-25, 26に示す。初期荷重の間は、ボルト応力は初期導入応力度 2400 kgf/cm^2 (ボルトの許容応力度の80%) で保持されており、目開き量は小さい。荷重が $P_1 = 8 \text{ t}$ ぐらいになると継手面が開き始め、ボルト応力が上昇し、目開き量も増加する。設計荷重レベルの $P_1 = 15 \text{ t}$ でのボルト応力は、頂版部で軸線を連続させる効果が明らかであり、従来の矩で約 2800 kgf/cm^2 、底版部で約 2700 kgf/cm^2 となり、初期導入応力度 2400 kgf/cm^2 に対して変動が小さく安定している。目開き量の方もそれぞれ 0.2 mm 、 0.15 mm と非常に小さく、通常、継手の目開き量は止水性などの点から 2.0 mm 程度が許容値とされており、このことから非常に安定した継手の挙動であることがわかる。

4. まとめ

本試験の結果をまとめると次の通りである。

- (1) 変位量については、本試験のどの载荷パターンにおいても、実験値と各々計算値は概ね一致しており、実際のセグメントリングの変位量をシミュレートすることができており、ある程度変位量を予測することが可能であると考えられる。
- (2) 応力度については、今回の試験において曲げ剛性の有効率 $\eta = 1$ 、曲げモーメントの割増率 $\zeta = 0$ の剛性一様リングとして求めた計算値より実験値の方が小さく、十分安全であることがわかった。
- (3) 本試験結果において、CRセグメントの特長となる隅角部を円弧状にすることにより生じる弊害は特になく、円弧部を曲がり梁として取り扱う設計方法は妥当であると考えられる。今後、縦横比、隅角部半径 r_1 の大きさなどの変化に対しても本設計法の適用が可能であるか確認する必要がある。
- (4) リング载荷試験のボルト応力と目開き量および継手曲げ試験の結果からもわかるように、継手の挙動は安定しており、従来の円形セグメントと同様の継手構造でも十分対処できることが確認できた。

5. あとがき

CRセグメントは、矩形シールド工法の一環として開発したものであり、今回の試験は設計手法の妥当性とCRの有効性を確認するために行った。その

結果、剛性一様およびハリーバネによる設計方法の計算値とほぼ同等であり、設計手法の妥当性とCRの有効性を立証することができた。矩形セグメントの隅角部を円弧状にすることは、セグメントに発生する断面力を低減し、経済的な設計を可能にすると共に、シールドトンネル外寸法の縮小に伴う掘削土量の削減など多くの点で有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 伊藤敏美ほか：異形断面シールド工法、日本プロジェクトリサーチ、1993.6.12.
- 2) 斎藤徹ほか：トンネル工学概論、土木工学社、pp.15-19、1990.
- 3) 津野和夫、泉満明：コンクリート構造物の隅角部設計法、土木技術29巻、9号、pp.20-28、10号、pp.73-79、11号、pp.28-34、土木技術社。
- 4) 小松定夫：構造解析学 I、丸善、1982.
- 5) 村上博智、小泉淳：シールドセグメントリングの耐荷機構について、土木学会論文報告集、No.272、pp.103-115、1978.4.
- 6) 藤本徹：ボルト継手を有するセグメントリングの変位特性の载荷実験における一例、土木学会論文報告集、No.257、pp.119-122、1977.1.
- 7) (社) 土木学会：トンネル標準示方書、シールド工法編、1996.
- 8) (社) 土木学会、(社) 日本下水道協会：シールド工用標準セグメント、(社) 日本下水道協会、1992. (1997.4.23受付)

RECTANGULAR-SECTION CONCRETE SEGMENTAL LININGS WITH ROUNDED CORNERS: DESIGN AND PERFORMANCE VERIFICATION

Toru TANIGUCHI, Makoto UKEGAWA, Koji TADA
and Koji NAKAGAWA

Increasing efforts are being made today to develop rectangular-section shield tunneling machines primarily because rectangular cross sections, often used for highway, railway, and power cable tunnels, reduces the amount of unnecessary excavation. In shield tunneling, segments are as important as the shield tunneling machine, and the development of rectangular-section segmental linings satisfactory in both performance and economy is hoped for. Rounded-corner rectangular-section concrete linings using segments designed by applying the design method for curved beams have been developed, and their performance was verified through joint tests and ring load tests on full-scale specimens.