

住友建設	正会員	金子	正士
東亜建設工業		安田	正樹
日本国土開発	正会員	杉本	雅人
住友建設	正会員	熊谷	紳一郎

1. はじめに

PCセグメントは、真円性、止水性、耐力に優れる、内圧トンネルに対応できるなどの特長を持っており、施工性、経済性を向上させれば、今後普及する可能性がある。著者らは、セグメント組立後にアンボンドPC鋼より線を挿入し、1周あたり1カ所で緊張・定着するタイプのPCセグメントの研究を行っている。(図-1にその概要を示す。) 本稿では、セグメント継手位置をPC部材、セグメント主断面をPRC部材とする設計法を提案する。

2. 設計法の概要

一般的な外圧トンネルの場合、鉛直荷重が水平荷重よりも大きくなるため、トンネル上下位置と両側の側部位置に正負のそれぞれ最大曲げモーメントが発生し、その中間点付近は変化点となり曲げモーメントは小さくなる。このため、セグメントの継手位置をなるべく上下左右の位置を避けて設置した上で、セグメント主断面はPRC部材として、また継手部は鉄筋が連続しないため、その位置の断面力に対しPC部材となるような緊張力を導入する。

この設計法には以下の利点がある。

①全断面をPC構造とする場合よりも緊張力を節約でき経済的。また、コンクリートの圧縮応力により断面が決定される場合、PC構造とするよりも部材厚さを薄くできる。

②継手位置をフルプレストレス状態とした場合、継手の剛性を本体部と同等に保てるため、千鳥組が必要ない。同じく、リング継手にせん断力の伝達を期待する必要がない。

3. セグメントの分割と継手の配置

コンクリート系セグメントは、主に搬入の施工性からKセグメントを含めて、中小口径で5~6分割、大口径で7~8分割される。図-1に5分割時、図-2に6、8分割時の配置例を示す。いずれの場合も分割角度を調整すれば、20°から30°継手位置を上下左右の曲げモーメント最大位置からずらすことが可能になることがわかる。

4. 試設計例

(1)計算方法

キーワード：シールドセグメント、PC構造、PRC構造

連絡先：〒160 東京都新宿区荒木町13番地の4 TEL 03-3225-5132 FAX 03-3353-6656

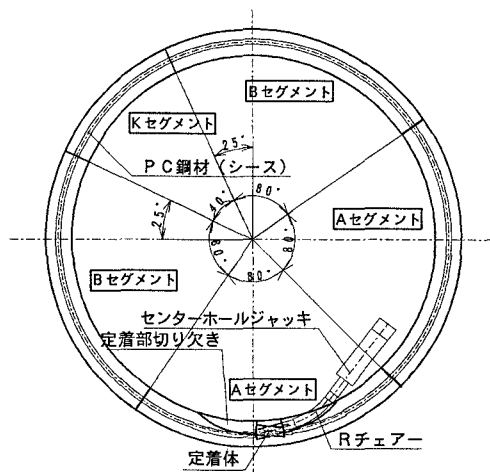


図-1 PCセグメント概要図(5分割)

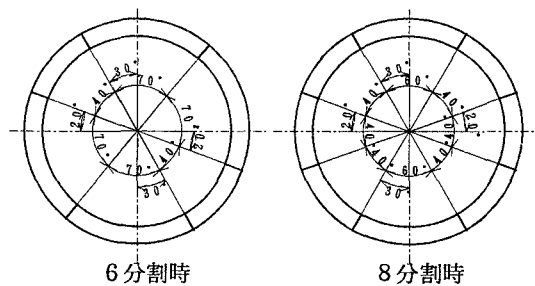


図-2 セグメントの配置例

内径 3.5m、桁高 15cm のセグメントについて、砂質土と粘性土の2ケースの条件を設定し、試設計を行った。表-1 に検討条件を示す。なお、砂質土は土水圧分離として緩み土圧を、粘性土は土水圧一体として全土被り圧を採用した。また、断面力の計算は、曲げ剛性一様なリングとして扱えるため、慣用計算法によった。

(2)計算結果

図-3、4 に断面力の分布を、表-2 にセグメント内外の縁応力度の計算結果を示す。セグメントは図-1 のように、5分割で継手位置を 25° ずらした場合を考えて、25° と 65° の継手位置がフルプレストレス状態になるように緊張力を設定した。また、比較のため、最大曲げモーメント位置 (0°) を P C 部材とするための緊張力も計算した。

これより、砂質土では P C 部材とした場合の緊張力 36tf (トンネル 1m あたり) に対し、P R C 部材とすると 22tf となり、約 40% 緊張力を節約できる。粘性土も同等となった。また、本体部は最大 29kgf/cm² (粘性土 0° 位置) の引張応力度となるが、P R C 部材として計算すると、必要鉄筋量は 1m あたり D10mm×4 本となった。この鉄筋量は P C 部材の最小鉄筋量を下回っており、P C 部材として設計した場合に比べて鉄筋量が増えることはなかった。

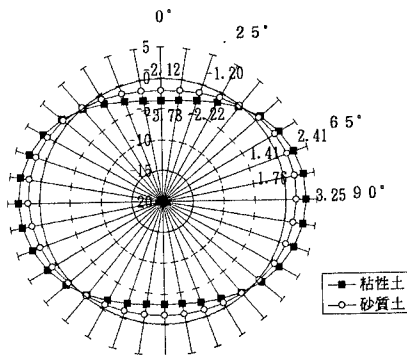


図-3 曲げモーメントの分布 (tf・m)

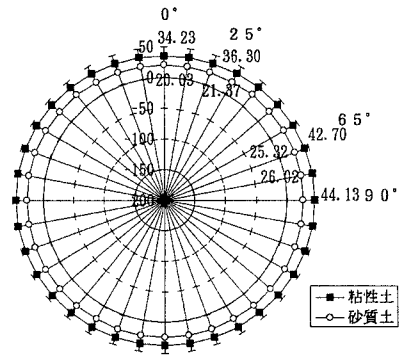


図-4 軸力の分布 (tf)

表-1 検討条件

項目	単位	数量
セグメント内径	mm	3500
セグメント外径	mm	3800
セグメント厚さ	mm	150
セグメント幅	mm	1000
土質	砂質土 粘性土	
土被り (地下水位)	m	10 (GL-5)
土の単位重量	tf/m ³	1.8 1.5
上載荷重	tf/m ²	1.0 1.0
側方土圧係数		0.45 0.7
地盤反力係数	kgf/c	2.0 1.0
鉛直荷重	tf/m ²	13.7 25.0
反力荷重	tf/m ²	14.9 28.2
頂部水平荷重	tf/m ²	9.0 17.6
底部水平荷重	tf/m	14.0 21.4

表-2 セグメント縁応力度の計算結果

断面位置	砂質土			粘性土		
	荷重による 応力度 (kgf/cm ²)	緊張力(tf) 下段偏心量 (mm)	合成応力度 (kgf/cm ²)	荷重による 応力度 (kgf/cm ²)	緊張力(tf) 下段偏心量 (mm)	合成応力度 (kgf/cm ²)
天端 (本体)	$\sigma_{out} = 70$	22.0	$\sigma_{out} = 73$	$\sigma_{out} = 124$	41.0	$\sigma_{out} = 129$
0度	$\sigma_{in} = -43$	(20)	$\sigma_{in} = -7$	$\sigma_{in} = -78$	(20)	$\sigma_{in} = -29$
天端 (継手)	$\sigma_{out} = 46$	22.0	$\sigma_{out} = 57$	$\sigma_{out} = 83$	41.0	$\sigma_{out} = 103$
25度	$\sigma_{in} = -18$	(7)	$\sigma_{in} = 1$	$\sigma_{in} = -35$	(7)	$\sigma_{in} = 0$
側部 (継手)	$\sigma_{out} = -21$	22.0	$\sigma_{out} = 0$	$\sigma_{out} = -36$	41.0	$\sigma_{out} = 4$
65度	$\sigma_{in} = 54$	(11)	$\sigma_{in} = 63$	$\sigma_{in} = 93$	(11)	$\sigma_{in} = 108$
側部 (本体)	$\sigma_{out} = -30$	22.0	$\sigma_{out} = -6$	$\sigma_{out} = -57$	41.0	$\sigma_{out} = -8$
90度※	$\sigma_{in} = 64$	(16)	$\sigma_{in} = 70$	$\sigma_{in} = 116$	(20)	$\sigma_{in} = 122$
天端 (本体)	$\sigma_{out} = 70$	36.0	$\sigma_{out} = 75$	$\sigma_{out} = 124$	66.0	$\sigma_{out} = 132$
0度 (P C)	$\sigma_{in} = -43$	(20)	$\sigma_{in} = 5$	$\sigma_{in} = -78$	(20)	$\sigma_{in} = 1$

(各応力度は、+が圧縮、-が引張、※砂質土は80度)

5. おわりに

全断面 P C 部材とする場合と継手部のみフルプレストレスとする場合を比較し、後者が経済性で有利なことがわかった。P C セグメントの設計法としては、プレストレスをさらに減らして、継手部に無応力域の発生を許容する方法も考えられる。その場合は、セグメント継手に桁高と軸力に応じた回転ばねを設定し、はり-ばねモデルにより計算を行えばよい。これらの設計法は、トンネルの用途や、リングとして許容される変形量に着目して使い分けるべきであり、今後引き続き適用範囲を検討していきたい。