冷間曲げ加工による鋼製セグメントの製作

首都高速道路株式会社　正会員　○中島　寛崇
首都高速道路株式会社　正会員　副島　直史
鹿島建設株式会社　正会員　中川　雅由
新日本製鉄株式会社　正会員　三宅　正人
鹿島建設株式会社　辻　千之

首都高速中央環状品川線シールドトンネル(北行)工事ではセグメントを切開く必要がある区間については、鋼製セグメントを採用する．本工事における鋼製セグメント（図-1鋼製セグメント概要図）の製作では主桁加工には、冷間曲げ加工による「プレス曲げ加工」を適用した。本稿は、プレス曲げ加工による鋼殻セグメントの製作手法、また、本加工法の製作上の適用性検討結果について報告するものである。

１．はじめに

主桁の加工については、プレス・ローラーを用いて曲げ加工する製造法であるプレス曲げ加工と、設計形状どおりガス溶断するＲ切り加工の2つの製造法が一般的である。前者はシールド工事用標準セグメントに規定された製造法であり、後者はプレス・ローラーで対応ができない大型の主桁製造に適用されてきた。

本工事では逼迫した鋼材需要に対処するため、大型の主桁製造においても、より鋼材の加工によるロスが少ない『プレス曲げ加工』を適用することとした（図-2主桁加工イメージ図)。

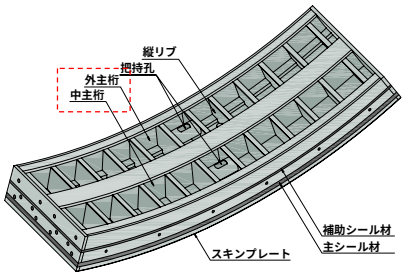

図-1　鋼製セグメント概要図

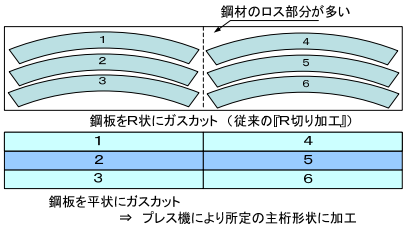

図-2　主桁加工イメージ図

２．製作手法

本工事にて使用する鋼殻セグメントは、ピースの弧長が約4.8mと大きく、主桁高さも400mm以上の部材があることから、これまでのプレス機の仕様では対応することができなかった。そこで、従来の大型プレス機を大幅に改造し、本工事で使用する鋼殻主桁の曲げ加工に対応できるように設備を変更した（写真-1大型プレス機全景)。この設備変更により曲げ加工の適用範囲が桁高については最大400mmから500mmに、弧長については最大4300mmから5000mmへと拡充された。また、プレスジャッキが17640KN（1960KN×9本)、クランプジャッキが4410KN（735KN×6本）という機械能力を備え、これらのジャッキによりプレス曲げ加工をおこなう。

写真-1　大型プレス機全景

３．製作上の検討課題

製作上の課題として下記(1)～(4)のような懸念事項が挙げられる。

(1)主桁厚における課題

主桁を曲げ加工する場合、加工後、内面側が太り、外縁側が痩せる台形形状となるが、この板厚変動により、加工後の寸法がJIS規格で規定された誤差内に収まらない可能性がある（図-3主桁断面変形イメージ)。また、主桁厚さが変化することで、継ぎ手ボルト締結によりボルト部に曲げの力がかかるという悪影響が生じることが懸念される。

キーワード　シールドトンネル、鋼製セグメント、冷間曲げ加工、 製作要領
連絡先　〒141-0032　東京都品川区大崎 5-4-30NO ビル 2F　首都高速道路㈱　東京建設局　品川線工事事務所　ＴＥＬ 03-3779-5106

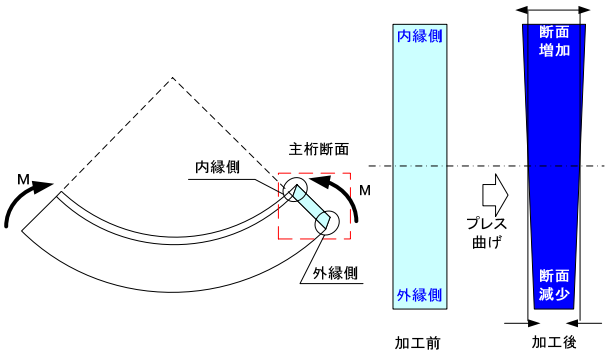

図-3　主桁断面変形イメージ

表-1　プレス曲げ主桁の加工精度

曲げ加工主桁の加工精度　t=28
材料寸法　SM490YB　28×394×5250
変位量平均値(曲げ加工前後)　単位:mm

ｻﾝﾌﾟﾙNo	板厚		平坦度				桁高	備考
			外周側		内周側			
	外周側	内周側	曲げ前	曲げ後	曲げ前	曲げ後		
1－①～1－⑤（5枚）	−0.44	0.32	0.72	0.18	0.76	0.30	−0.56	
2－①～2－⑤（5枚）	−0.16	0.36	0.48	0.24	0.36	0.20	−0.30	
3－①～3－⑤（5枚）	−0.30	0.36	0.38	0.72	0.26	0.88	−0.36	
平均値（15枚）	−0.30	0.35	0.53	0.38	0.46	0.46	−0.41	

曲げ加工主桁の加工精度　t=29
材料寸法　SM490YB　29×394×5250
変位量平均値(曲げ加工前後)　単位:mm

ｻﾝﾌﾟﾙNo	板厚		平坦度				桁高	備考
			外周側		内周側			
	外周側	内周側	曲げ前	曲げ後	曲げ前	曲げ後		
1－①～1－⑤（5枚）	−0.28	0.56	0.56	−0.05	0.68	0.23	−0.28	
平均値（5枚）	−0.28	0.56	0.56	−0.05	0.68	0.23	−0.28	

曲げ加工主桁の加工精度　t=58
材料寸法　SM520C－H　58×394×5350
変位量平均値(曲げ加工前後)　単位:mm

ｻﾝﾌﾟﾙNo	板厚		平坦度				桁高	備考
			外周側		内周側			
	外周側	内周側	曲げ前	曲げ後	曲げ前	曲げ後		
1－①～1－②（2枚）	−0.55	0.65	1.90	1.00	1.35	1.20	−0.10	
平均値（2枚）	−0.55	0.65	1.90	1.00	1.35	1.20	−0.10	

(2)主桁の平坦度における課題

プレス曲げ時にクランプジャッキで面外変形を拘束するが、既往実績を超えた弧長、桁高、板厚においても平坦度を確保できるのか確認する必要がある。

(3)主桁の曲率における課題

これまで弧長4.8m、桁高400mmの主桁でのプレス曲げ加工は実績が無く、加工時におけるスプリングバック量が不明である。そのため、この戻り量を確認し、製作に反映させる必要がある。

(4)セグメントピース製作時の課題

塑性変形させた材料を溶接すると戻り変形を生じることがわかっている。戻り変形の影響を受けるセグメントピース製作時においても、所要の製作精度を確保できるのか確認が必要である。また、主桁厚さが内縁側外縁側で異なるが、ピースの直角度が確保できるのか確認が必要となる。

4．検討課題に対する対応策

上記(1)～(4)の課題に対して、本工事でプレス曲げ加工の適用を考えている、厚さ28mm、29mm、58mmの主桁（いずれも桁高394mm）を試作し、製作精度を確認した。また、セグメントの形状精度についても鋼殻ピース2種類（主桁厚28mm×3枚、主桁厚29mm×2枚＋58mm×1枚）を試作し、製品精度を確認した。

5．対応策による確認結果

試作品による製作、製品精度の確認をおこなった。主桁のプレス加工前後の板厚、平坦度、桁高の変化量測定結果を表-1に示す。

板厚については値にばらつきがあるものの外縁側で板厚減少、内縁側では板厚増加が確認され、板厚変化量は理論ひずみ（3.3%）よりも小さいことが確認された。また、全て「部材設計上、許容される板厚変化量＋JIS規格における許容公差」範囲内であり、製作精度の観点から問題がないことを確認した。平坦度についてはプレス曲げ後に向上していることが読み取れる。これはプレス曲げ時のクランプジャッキによる抑え効果だと推測される。桁高については値にばらつきがあるものの一様に減少していることが読み取れる。

ボルト締結への支障についてはプレス加工した主桁を重ね、ボルト締結後に座金下に隙間が生じないことを確認した。

また、プレス曲げ加工による主桁、セグメントの試作から、プレス曲げ加工後のスプリングバック量、溶接による戻り量を把握し、プレス曲げ寸法を調整することで鋼殻ピースとして所定の寸法精度を確保できていることを確認した。製品の寸法を確認する「製品画張り」と加工後の寸法を確認する「加工画張り」により製作寸法の管理をおこなうこととした。

6．まとめ

本検討では「冷間曲げ加工」により製作した鋼殻セグメントにおける課題を製作上の観点から抽出し、試作品を用いた各種の試験を実施することによって課題に対する検討をおこなった。

検討の結果、「冷間曲げ加工」は本工事における鋼殻セグメントの製作にも適応可能であると考える。