

ダクトイルセグメントの局部座屈に関する研究

（株）クボタ 産業機材技術部 正会員 向野勝彦
正会員○今野 勉
正会員 足羽晋也

1. はじめに

ダクトイル（DC）セグメントは昭和40年頃から国内で使用され、現在までの施工実績は延長100km以上になっており、その中で昭和60年頃以後に施工されたものは二次覆工なしで使用されている例が多い。DCセグメントは鋼製に比べて全体的に肉厚が厚く、抜け勾配のハンチや隅Rで補強された一体成型品であるため、二次覆工なしの場合でもこれまで局部座屈に関する問題は発生しておらず、ほとんど検討されていない状況である。しかし、近年シールドトンネルの設計に限界状態設計法の導入が進められているため、DCセグメントの局部座屈に関する扱い方を明確にする必要があり、主桁の座屈性状を実験により確認した。

2. 局部座屈の扱い方

コルゲート型DCセグメントの主桁の中で、局部座屈が懸念される外主桁（リング継手板併用）を対象として検討を行う。外主桁は3辺を縦リブやスキンプレートと一体接続した矩形の平板であるが、周辺の拘束条件としては肉厚が全体的に厚いためにかなり強固になっている。

DCセグメントは上記のような一体成型という構造上の特徴を有していることから、外主桁の拘束状態や座屈係数を表-1のように設定した。材質をFCD500-7としたときの限界幅厚比補正値は21.8である。

表-1 DCセグメントの拘束状態と座屈係数

外主桁接続部の形状	外主桁周辺の拘束条件	座屈係数 (K)
	3辺固定・1辺自由 拘束条件 / : 固定, 無 : 自由	$K = 4 / \alpha^2 + 40 / (3\pi^2) + 15\alpha^2 / \pi^4 - 20\nu / \pi^2$ (最小値 : 2.31) $\alpha = L / h$ L : 縦リブピッチ h : 主桁の高さ (座屈設計ガイドラインより)

3. 試験概要

主桁の圧縮挙動を確認するため、右図に示す箱型供試体を用い、圧縮力を終局域まで作用させて性能を確認した。供試体寸法は表-2に示すように桁高2種類に対して主桁の肉厚を各2水準とした4ケースで、材質はFCD500-7である。

供試体はセグメントと同様に周囲4面を機械加工しているため、初期たわみはほとんどない状態である。

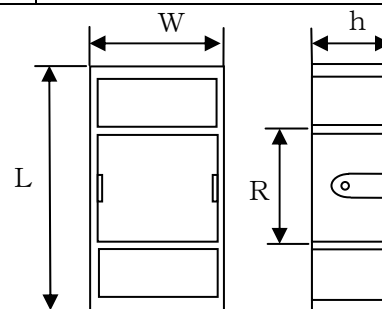


表-2 供試体の寸法 (mm)

ケース No.	桁高 (h)	幅 (W)	リブ間隔 (R)	全長 (L)	部材の厚さ			幅厚比 補正値	局部座屈の 扱い
					主桁 (tr)	スキン	縦リブ		
1A	200	300	360	680	15~17	9	22~26	12.2	局部座屈なし
1B	"	294	"	"	12~14	"	"	15.3	局部座屈なし
2A	250	300	400	800	15~18	9	25~30	14.9	局部座屈なし
2B	"	294	"	"	12~15	"	"	18.6	局部座屈なし

幅厚比補正値 : $h / (tr \cdot f \cdot Kr)$

f (応力勾配による補正値) = 1 (純圧縮の場合)

Kr (座屈係数の比) = $\sqrt{(K / 2.31)}$

今回設定した拘束条件では、上表に示すように4ケースともに局部座屈なしという扱いになるため、圧縮耐力 (360N/mm²) 相当以下の荷重で局部座屈が発生しないことを確認する必要がある

試験は供試体を立てた状態でその図心位置をジャッキ中心とし、主桁の座屈に対して最も厳しい純圧縮状態

キーワード : シールドトンネル、ダクトイルセグメント、座屈、実験

連絡先 : 〒556-8601 大阪市浪速区敷津東1丁目2番47号 Tel 06-6648-2785

で荷重が増加しなくなるまで継続した。試験に際しては供試体の鉛直方向と継手板左右方向の変位、リングボルト部の継手板とスキンプレーートの歪等を計測した。

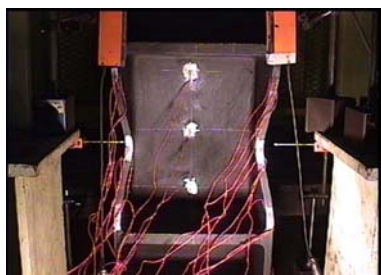
4. 試験結果および考察

試験での最大荷重と計算荷重との比較を表－3に示し、試験後の状況を図－1、2に、供試体1Bの荷重と変位の関係および荷重と歪の関係を図－3～5に示す。

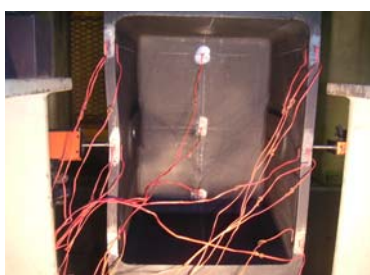
表－3 試験での最大荷重と計算荷重との比較

ケース No	桁高 (mm)	主桁の断面積 (mm ²)	圧縮耐力相当 計算荷重 (kN)	試験での最大 荷重 (kN)	最大荷重と 計算荷重の比	最大荷重時の 鉛直変位(mm)
1 A	200	8812(9893)	3172 (3547)	3930	1.24 (1.11)	約4
1 B	200	7612 (8775)	2740 (3159)	3410	1.24 (1.08)	約3
2 A	250	10653 (11988)	3835 (4316)	4790	1.25 (1.11)	約4
2 B	250	9153 (10730)	3295 (3863)	4240	1.29 (1.10)	約3.5

() 内は実寸法平均値での計算結果を示す



図－1 試験前後の状況（供試体1B、2A）



図－2 中央部切断面の状況（2A）

試験での最大荷重は4ケースともに図面寸法での計算耐力荷重の約1.25倍という結果であった。継手板の歪グラフから見ると、計算耐力荷重の少し手前から面外変形が徐々に生じる傾向を示すが、耐力荷重を超えても荷重は増加した。その後は塑性領域に入るため、変形が進むだけで荷重は増加しなくなった。試験は主桁が5mm程度変形するまで継続したが、最大荷重に達した後の荷重低下傾向は認められなかった。（1Bのみ図－1の状態まで試験を継続した。）

継手板周辺部の変形状態については、試験後の状況写真に示すように、縦リブとの接続部およびスキンプレーートとの交差部（供試体2Aの中央部切断面）ともに当初の直角形状を保ち固定条件を満足する状況である。

5. おわりに

今回の圧縮試験の結果、FCD500-7の圧縮耐力相当の計算荷重より低い荷重では局部座屈による耐力低下傾向は認められなかった。このことから、DCセグメントの局部座屈に関する主桁の拘束状態として、今回設定した3辺固定・1辺自由の板として扱って問題ないとの見通しが得られた。

今回200Hと250Hのセグメントを対象として試験で座屈性状を確認したので、今後これらのサイズについて解析でも検証していくこととし、同様に桁高の高いセグメントや局部座屈ありの肉厚のケース等も解析や実験を実施し、局部座屈の適用範囲や限界状態の扱いに関して研究を継続する予定である。

最後に、本研究の遂行にあたりご指導いただいた早稲田大学 小泉淳教授に深く感謝の意を表します。

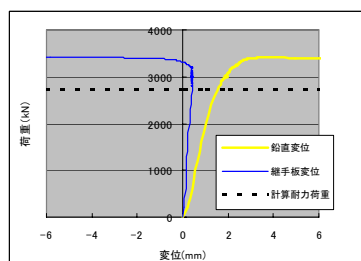


図-3 荷重と変位の関係（1B）

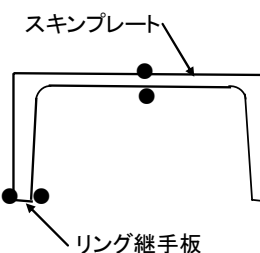


図-4 主桁の歪ゲージ位置

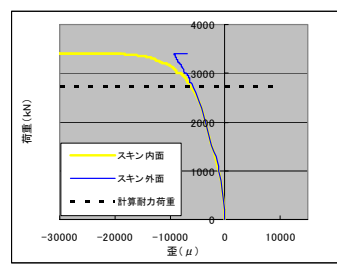
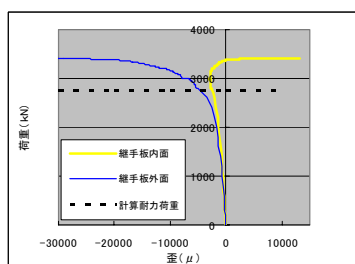


図-5 荷重と歪の関係（1Bの継手板、スキンプレーート）