

(53) 大型コンクリート定着部の挙動と設計に関する研究

京都大学 工学部土木教室 藤井 学
 神鋼鋼線工業㈱ 吊構造部 石川敬士

神鋼鋼線工業㈱ 吊構造部 田中義人
 神鋼鋼線工業㈱ 吊構造部 原口俊男

1. まえがき

本研究は、ケーブルを挿入定着する大型コンクリート定着部の静的強度を明らかにするものである。近年、橋梁技術が進歩するにつれて長径間のコンクリート斜張橋の建設が相次いでいる。これらコンクリート定着部は、数値解析および実験により検討されてきたが、小型定着部に限定されており、大型コンクリート定着部の静的強度の研究報告が少ない。また、コンクリート定着部は、変形断面で応力集中をともなうため、構造断面を決めるうえで重要な部分であり、より妥当な定着部強度の評価が必要である。

この分野の研究は、Bleich, Morsh, Magnel, Guyon, Sievers, Christodoulidesによって、2次元載荷状態で簡易式と光弾性試験から近似解を求めている。Iyengarは、弾性理論による応力関数より数値解析を行ない、定着部の2次元応力分布の厳密解を明らかにしている。坂および六車は、2次元の近似解法を3次元に応用している。岡本は、コンクリート定着部の支圧板下の局部応力について、3次元の応力解析と載荷実験を比較考察している。藤井は、たわみ性支圧板のコンクリート支圧強度を吟味している。^{3,6)}

コンクリート定着部の規定は、支圧応力と割裂応力について日本建築学会PC設計施工基準・同解説³⁾で述べられている。英国のBS 4447⁴⁾は、コンクリートの引張応力を考慮して、支圧板下の割裂力と発生領域をコンクリート辺長の1.0倍と規定している。米国のASSHTO⁵⁾への提案規格は、コンクリートの引張応力を無視して、支圧板下の割裂力と発生領域をコンクリート辺長の1.5倍とし、支圧応力は、45°方向に伝達するとしており、簡便で分かりやすい規定となっている。

本研究は、コンクリート定着部に対して、従来の研究および実験結果に基づいてコンクリート定着部寸法を理論的に算定した。定着部の構成は、支圧板、鋼管およびスパイラル筋とした。鋼管は、リブ付きとリブ無しを考慮した。実験的検討は、まず小型供試体(寸法比 1/3、耐力200 ton)で、コンクリート強度と支圧板の大きさを変化させて、最適コンクリート定着部の寸法を求めた。中型供試体(寸法比1/1.7、耐力 600 ton)は、スパイラル筋とコンクリートのひずみ、ひびわれ状態の基本性状を調べた。こののち、実物定着部の確認のために大型供試体(寸法比 1/1、耐力 2,000 ton)の静的強度を求めた。これら定着部の実験結果より、使用限界状態および終局状態のひびわれと支圧板耐力について理論的・実験的に考察した。また、定着部の寸法比と耐力比を変化させた小型、中型、大型定着部の載荷実験より相似則の成立性を吟味し、大型のコンクリート定着部の検討資料とした。

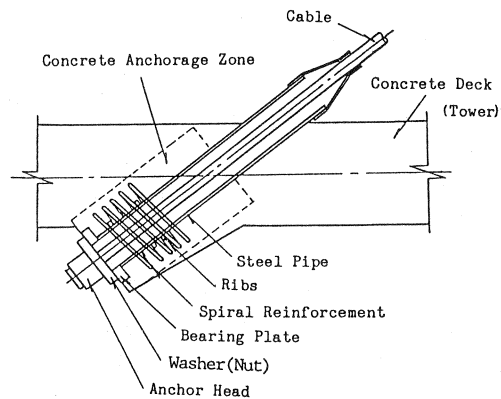


FIG. - 1 TYPICAL CROSS SECTION OF CONCRETE ANCHORAGE

2. コンクリート定着部の設計

(2.1) 設計条件

ケーブル挿入穴を有するコンクリート定着部についての設計条件と設計方法は、日本道路協会の道路橋示方書¹⁾、PC斜張橋上部工設計指針²⁾、日本建築学会PC設計施工基準・同解説³⁾に準拠させるとする。

(2.2) リブ付きコンクリート定着部 (A型)

コンクリート定着部は、ケーブル設計荷重 Pa を支圧板とリブで支持すると考える。(図-1,2) (鋼管)

鋼管は、式(2.1)で支圧板のアンカー挿入穴のコンクリート欠損部を分担支持する。鋼管の内径 Bi は、アンカーA (=34 cm) より2 cm大きくする。鋼管の圧縮力は、コンクリート圧縮力にヤング係数比 n (=Es/Ec=6) を乗じたものとする。

(リブ)

リブは、式(2.2)で鋼管のアンカー挿入穴の欠損部の支圧面積を補うリブ段数 n₁ (=3段) とする。

(支圧板)

支圧板は、正方形の支圧板下が全てコンクリートで裏打ちされるとする。支圧板は、アンカーの座金外径 Dn (=46 cm) から45度方向に応力伝達されるとする。

(スパイラル筋)

スパイラル筋の巻径は、鋼管とで囲まれるコンクリート圧縮応力が許容圧縮応力 σ_{ca} になるとする。スパイラル筋の負担する割裂力 Ts は、コンクリートの引張応力を無視して求める。³⁾

スパイラル筋は、D30 (φ19, A_s=2.865cm², σ_{sa}=1,800kg/cm²) として、巻数 n₂ を求める。スパイラル筋は、割裂力 Ts が、コンクリートの辺 Dc (=90 cm) の0.1~1.1で生じるとして配置する。³⁾

(2.3) リブなしコンクリート定着部 (B型/別解)

コンクリート定着部は、ケーブル設計荷重 Pa を支圧板のみで支持すると考える。支圧板は、正方形の支圧板下が全てコンクリートで裏打ちされるとする。支圧板は、アンカーの座金外径 Dn (=46 cm) から45度方向に応力伝達されるとする。B型の鋼管とスパイラル筋は、A型を準用する。

引張荷重 Pu = 1607 ton (鋼線7mm×253本)
 設計荷重 Pa = 642 ton (安全率ν=2.5)
 設計基準強度 σ_{ck} = 400 kg/cm²
 許容圧縮応力度 σ_{ca} = 113 kg/cm² (=0.85×σ_{ck}/3)
 許容支圧応力度 σ_{ba} = (0.25+0.05×Ac/Ab)×σ_{ck}
 = 133 kg/cm² (Ac/Ab=支圧比)

(A型定着部)

$$n \times ((Bi+2xBt)^2 - Bi^2) \times \pi / 4 \geq Bi^2 \times \pi / 4 \quad (2.1)$$

鋼管の厚み Bt ≥ 0.5×(√(1/n+1)-1)×Bi
 = 0.040×(A+2)
 = 1.5 cm

鋼管の外径 Bo ≥ Bi+2xBt
 = A+2+2xBt
 →40.6 cm とする。

$$n_1 \times ((Bo+2xRt)^2 - Bo^2) \times \pi / 4 \geq Bo^2 \times \pi / 4 \quad (2.2)$$

リブの高さ Rt ≥ 0.5×(√(1/n₁+1)-1)×Bo
 = 0.077×Bo
 = 3.1 cm

支圧板の辺 Db ≥ √(Pa/σ_{ba})
 = 70 cm

支圧板の厚み Dt ≥ 0.5×(Db-Dn)
 = 12 cm

スパイラル筋の巻径 Ds ≥ √(Pa/σ_{ca}+π×Bo²/4)
 = 84 cm

スパイラル筋の負担する割裂力 Ts ≥ 0.25×(1-Db/Dc)×Pa
 = 36 ton

スパイラル筋の巻数 n₂ ≥ Ts/(As×σ_{sa})
 = 7 本

スパイラル筋の配置長 Ls ≥ (1.1-0.1)×Dc
 = 90 cm

スパイラル筋のピッチ Lp ≥ Ls/n₂
 = 13 cm

(B型定着部/別解)

支圧板の辺 Db ≥ √(Pa/σ_{ba}+π×Bo²/4)
 = 78 cm

支圧板の厚み Dt ≥ 0.5×(Db-Dn)
 = 16 cm

3. コンクリート定着部の数値解析

コンクリート定着部の数値解析は、3次元の有限要素法(FEM)で計算した。数値解析のモデルは、挿入穴を有するコンクリート構造から実物寸法で取出した大型コンクリート供試体を想定した。(図-2)

コンクリート定着部の典型的な解析結果を示す。FEM解析より得られたスパイラル筋のひずみ量は、載荷荷重 100%Pu (1,607 ton)が支圧板に作用した時の値で、コンクリートのひびわれを無視した結果と考慮した結果の両方を示している。支圧板とリブを併用したA型のスパイラル筋のひずみ量は、ほぼ一定である。一方、支圧板のみのB型は、支圧板に近いところが大きくなっている。コンクリートのひびわれを考慮した場合のスパイラル筋のひずみ量は、ひびわれを無視した場合の3倍となっている。(図-3)

4. コンクリート定着部の載荷実験

(4.1) 供試体

供試体のA型は、小さな支圧板とリブ付き鋼管とスパイラル筋からなる。B型は、大きな支圧板とリブなし鋼管とスパイラル筋からなる。各供試体の寸法比は、実物コンクリート定着部の1/3(小型)、1/1.7(中型)、1/1(大型)とした。

小型供試体(1/3)は、支圧板を200、220 mmとし、スパイラル筋の巻径を220、260 mmに変化させた。巻径220 mmは、B型の支圧板の辺長に合わせた。巻径260 mmで囲まれるコンクリート面積は、B型の支圧板下の圧縮面積に合わせた。中型供試体(1/1.7)は、支圧板をリブ付き鋼管で390 mm、リブなし鋼管で420 mmとし、スパイラル筋の巻径を470 mmとした。大型供試体(1/1)は、支圧板をリブ付きで710 mm、リブなしで730 mm、スパイラル筋の巻き径を820 mmとした。コンクリート強度は、小型供試体(1/3)において200、300、400 kg/cm²とし、中型と大型供試体(1/1.7、1/1)で400 kg/cm²とした。(図-4)

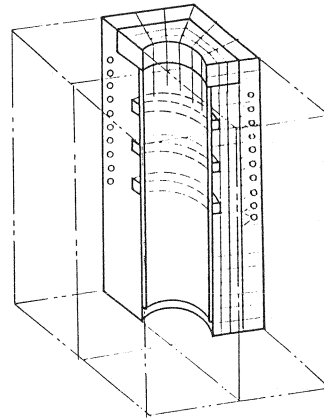


FIG.-2 A THREE DIMENSIONAL FEM MODEL

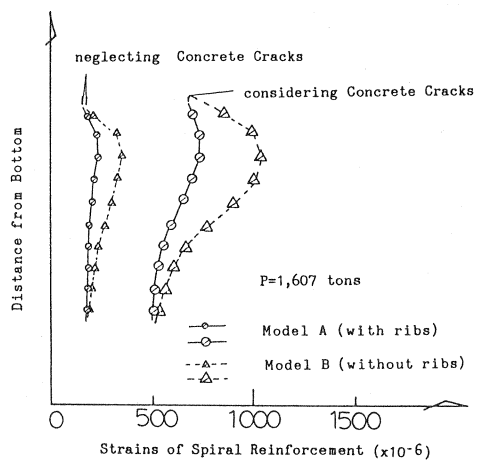


FIG.-3 ANALYTICAL RESULTS

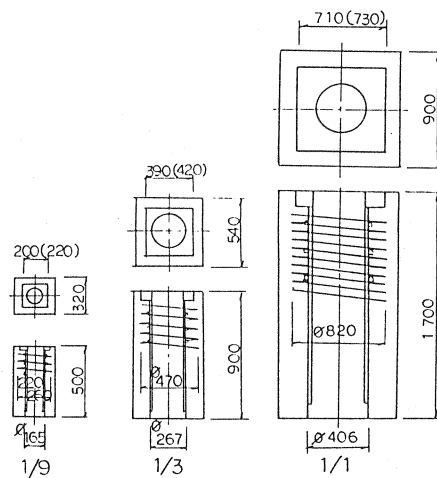


FIG.-4 DIMENSIONS OF CONCRETE SPECIMEN

大型供試体のスパイラル筋の引張ひずみ量は、リブ付き鋼管のA型がコンクリート全長に沿って発生した。リブなし鋼管のB型は、支圧板近辺が大きくなった。(図-9)

大型供試体のコンクリート表面の圧縮ひずみ量は、鋼管のリブの有無に関係なく似かよった値となった。(図-10)

大型供試体における支圧板の曲げひずみ量は、A型支圧板の曲げひずみ量がB型より小さくなった。(図-11)

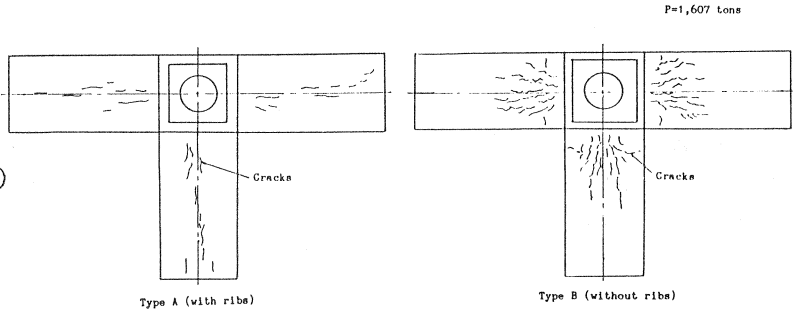


FIG.-8 CONCRETE CRACK PATTERNS

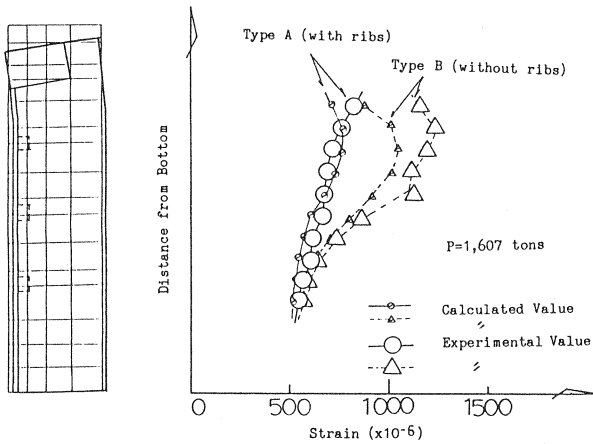


FIG.-9 STRAINS OF SPIRAL REINFORCEMENT

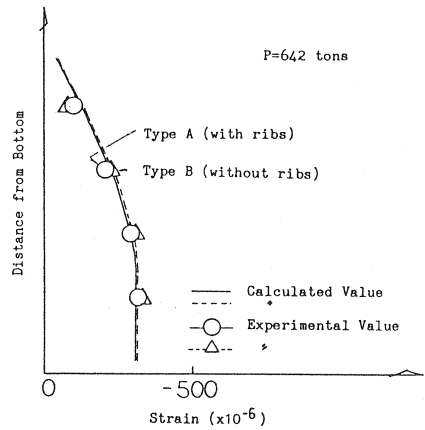


FIG.-10 STRAINS OF CONCRETE SURFACE

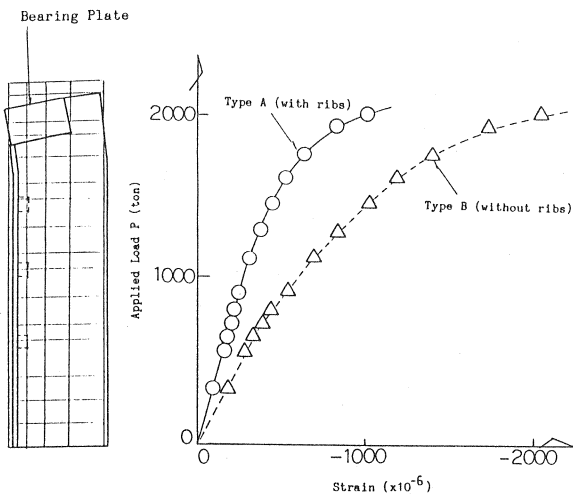


FIG.-11 STRAINS OF BEARING PLATE

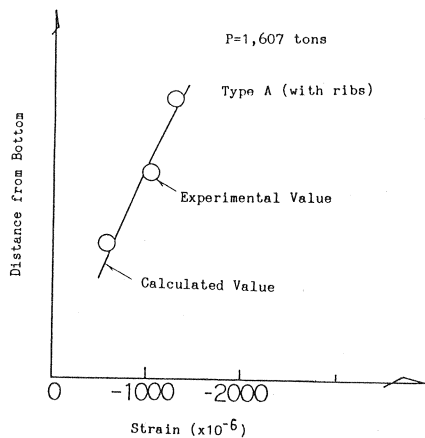


FIG.-12 STRAINS OF STEEL PIPE

大型供試体のA型の鋼管の圧縮ひずみ量は、鋼管の圧縮ひずみ量がほぼ線形的に増加した。各リブは、コンクリート支圧応力をほぼ均等に荷重分担した。(図-12)

小型、中型、大型供試体の静的耐力は、スパイラル筋の引張応力が0.2%ひずみになったときの値とした。各供試体の耐力と寸法2乗比で図示された結果は、ほぼ直線状になったので、コンクリート定着部は、ほぼ相似則が成立すると考えられる。(図-13)

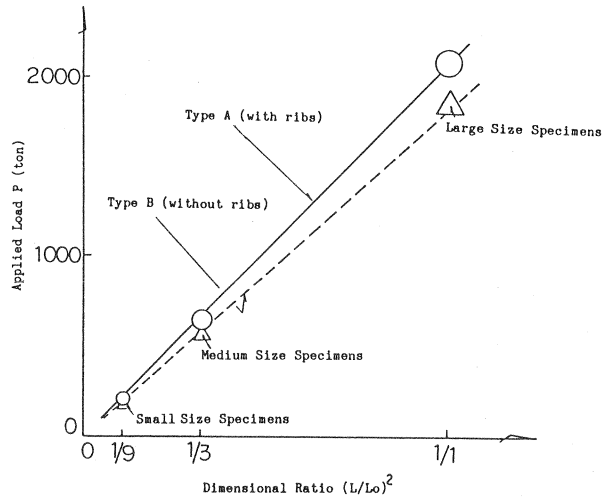


FIG. - 1 3 SIMILARITY RATIO IN DIMENSIONS

5. 結 言

大径ケーブル用の挿入穴を有するコンクリート定着部について、3次元の数値解析と300~2,000 tonまでの載荷実験を実施した。載荷実験は、鋼線7mmの253本束ケーブル用のコンクリート定着部に対して、1/3、1/1.7、1/1寸法比の供試体に負荷したところ、以下の知見を得た。

- (a) 数値解析は、スパイラル筋の引張ひずみがリブ付き鋼管(A型)で小さくてほぼ一定になったのに対して、リブなし鋼管(B型)で支圧板近辺に集中した。数値解析は、実験結果とほぼ一致した。
- (b) 試験体の静的耐力は、リブ付き鋼管(A型)がリブなし鋼管(B型)より高かった。また、静的耐力は、支圧板、鋼管、スパイラル筋が同じとき、コンクリート強度差の0.3倍で変化した。
- (c) 試験体のスパイラル筋の巻き径が小さいとパンチング破壊して、耐力低下した。
- (d) 試験体のコンクリート表面のひびわれ幅は、コンクリート強度が増加するほど小さくなった。
- (e) コンクリート定着部には、相似則が成立すると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路橋示方書・同解説 : (社)日本道路協会、1990.
- 2) PC斜張橋上部工設計指針(案) : 橋梁と基礎、1982.
- 3) PC設計施工基準・同解説、第4版 : (社)日本建築学会、1970.
- 4) BS 4447-1973 : The performance of prestressing anchorages for post-tensioned construction, Specification by British Standards Institution.
- 5) Breen, J. : Proposed post-tensioned anchorage zone provisions for Inclusion in the AASHTO Bridge Specifications, Phil M. Ferguson Structural Engineering Laboratory, The University of Texas at Austin (USA), 1990.
- 6) 藤井学 : たわみ性支圧板載荷によるコンクリート支圧強度の理論的研究 : 土木学会論文報告集、/193号, 1971.