

論文

[2159] アウトケーブルを用いたRCはりのケーブル支持点の耐荷特性に関する実験的研究

正会員○齊藤啓一 (JR東日本東北工事事務所)

正会員 宮本征夫 (財・鉄道総合技術研究所)

1. はじめに

近年、プレストレストコンクリート構造物の設計施工において、断面外にPC鋼材を配置した(以下アウトケーブルという)構造形式が注目を集めている。一方、コンクリート構造物の耐久性については、高度成長期に建設された構造物の劣化への対処法が各機関で検討され、その一部は修繕補強が必要となっている。既設のコンクリート構造物の補強手段の一つとして、アウトケーブルの使用は、経済性、プレストレス摩擦損失の減少、ケーブル交換可能ならびに作業性の向上等の観点から、構造物によっては利点があると思われる[1]。

既設のコンクリート構造物の補強手段として、このアウトケーブルを配置した構造形式を利用する上で明らかにすべき問題点の一つに、アウトケーブルを支持する横桁の支持点あるいは固定点における設計施工法がある。そこで、横桁の支持点部に着目し、特に支持点部を鉄筋コンクリート造としあと施工により主桁に取付け、アウトケーブルにより補修・補強をおこなう方法における設計施工法を明らかにするために、まず、RCはり本体と支持点部を単体的に作製した模型試験体による載荷試験を行い、これら支持点部の力学的な基礎性状について報告を行った[2]。

今回、さらに、支持点部をあと施工とした模型試験体により静的載荷試験を行い、支持点部における形状・寸法、補強鉄筋量や、補強鉄筋の本体への定着方法、埋め込み長さ、本体と支持点部との接合面の処理方法等の違いが、あと施工により取り付けられた支持点部の力学的性状に及ぼす影響を検討したので以下に報告する。

2. 試験概要

2.1 試験体について

試験体の形状ならびに配筋方法を、図-1に示す。

2.2 使用材料について

使用した主な材料を以下に示す。

1) コンクリートの品質を表-1に示す。

2) 補強鉄筋の品質は、D6 SD30A $f_y=36.9\text{kg/mm}^2$, D10 SD35 $f_y=37.0\text{kg/mm}^2$ である。なお、補強鉄筋は支持点部のみ配置し、本体部分には配置していない。

3) ケミカルアンカーの注入材はエポキシ樹脂系(圧縮強度600 kg/cm^2 規格値)を使用した。

4) モルタルアンカーの注入モルタルの配合は、W/C=35%、S/C=2(圧縮強度500 kg/cm^2 目標値)とした。

2.3 試験体の製作方法

支持点部をあと施工とする場合の試験体の製作順序を以下に示す。

1) 本体部分のコンクリートの打設。材令3週間で脱型。

2) アンカー用の穴をあける。削孔径を表-2に示す。

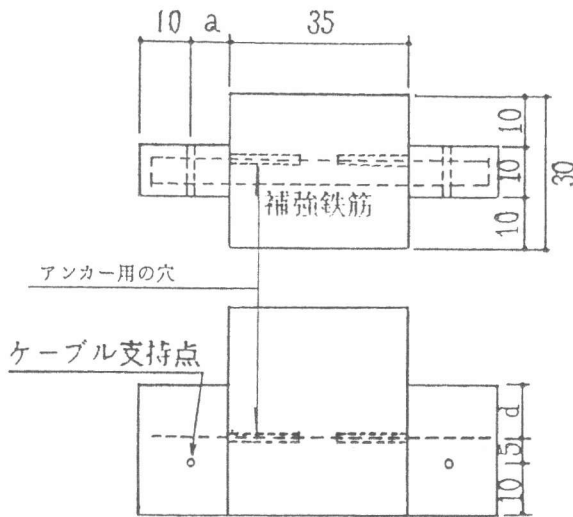
3) 本体と支持点部との打ち継ぎ面のチッピングを行う。チッピング深さは、チッピングしたコンクリート片の重量を計りできるだけ均一となるように配慮した。

4) 支持点部に補強鉄筋を配置し、先端部をモルタルアンカーあるいはケミカルアンカーにより、本体に定着する。

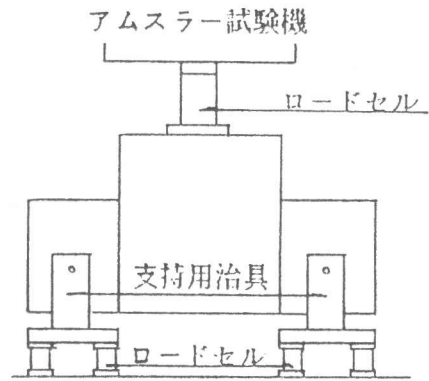
5) 支持点部コンクリートの打ち込み。

表—1 コンクリートの品質

W/C(%)	S/a(%)	Gmax	スランブ	呼び強度
50.6	42.8	25mm	8 cm	270 kgf/cm ²



図—1 試験体の形状 (cm)



図—2 載荷方法

2. 4 載荷方法

試験体への載荷は、アムスラー試験機を用いて図—2 に示す方法で行った。ケーブル穴は、直径 3mm の丸鋼を挿入し、ケーブル穴と丸鋼との間隙には石膏を充填して支点とした。

2. 5 測定項目

測定項目は、

- ア) 支持点部のコンクリートのひずみ
- イ) 支持点部の補強鉄筋のひずみ
- ウ) ひびわれ性状
- エ) たわみ
- オ) 支持点部と本体とのずれ
- カ) 支点反力
- キ) 載荷荷重

等である。

2. 6 試験体の種類ならびに試験における主な着目点

試験体の種類を表—3 に示す。試験体は 20 体であり、主な着目点を以下に示す。

ア) 補強鉄筋の定着方法の影響：定着方法を、連続とした鉄筋を用いて一体打ちとする（以下一体打ち）(A)、ケミカルアンカー(B)、モルタルアンカー(C) の 3 種類とし、各々の定着方法の違いによる影響を調べる。

イ) 補強鉄筋の埋め込み長の影響：本体中で補強鉄筋を切断せずに左右の支持点部間で連続に

表—2 アンカー用の穴

鉄筋種類	ケミカルアンカー	モルタルアンカー
D6	19mm	16mm
D10	25mm	19mm

配置する(A)，埋め込み長を補強鉄筋径の15倍とする(B)，同20倍とする(C)，の3種類とし，補強鉄筋の本体への埋め込み長の違いによる影響を調べる。

ウ)接合面の処理方法の影響：支持点と本体とを一体打ちにし，打ち継ぎ面を設けない(A)，あらかじめ本体側の側面をチップング・削孔し，補強鉄筋を埋め込み配置してから，支持点部分をあと打ちして一体化する(B)，本体製作後同様に補強鉄筋を設置するが，支持点と本体との接合面は特に処理を行わず，支持点部分をあと打ちし接合一体化する(以下無処理という)(C)の3種類とし，接合面の処理方法の影響を調べる。

表-3 試験体並びに試験結果一覧

試験体名	試験体記号 a. d. Pw	定着方法	埋め込み長さ	接合面処理	fc(kg/cm ²)	ひびわれ発生(tf)	Pmax(tf)	破壊形式
1	5.10.2D6	A	A	A	308	5.09	6.81	S
2	10.10.2D6	A	A	A	308	2.34	4.58	B
3	15.10.2D6	A	A	A	308	1.09	2.77	B
4	10.10.3D6	A	A	A	308	2.05	4.86	B
5	10.10.2D10	A	A	A	308	1.66	5.65	S
6	10.15.2D6	A	A	A	308	3.27	5.71	S
7	5.10.2D10	B	A	B	322	1.11	3.81	F
8	10.10.2D6	B	A	B	322	0.42	4.12	B
9	15.10.2D6	B	A	B	322	0.17	2.58	B
10	10.10.2D10	B	A	B	322		6.29	S
11	10.15.2D6	B	A	B	322	0.61	4.16	F
12	5.10.2D6	C	A	B	322	0.89	3.63	F
13	10.10.2D6	C	A	B	322	1.00	4.51	B
14	15.10.2D6	C	A	B	322	0.62	2.75	B
15	10.10.2D10	C	A	B	322	0.42	6.13	S
16	10.15.2D6	C	A	B	322	0.69	4.10	F
17	5.10.2D6	B	B	B	322	自重	3.20	F
18	15.10.2D6	B	B	B	322	自重	2.78	B
20	10.10.2D6	B	C	B	322	0.09	4.37	B
22	10.10.2D6	B	B	C	322	自重	4.35	F

注 試験体記号は，図-1によるが Pw は補強鉄筋量を示す。
19,21 の試験体は異なる定着方法のものであるので本報告から除外した。

3. 試験結果ならびに考察

試験結果の概要を表-3に示す。

3.1 ひびわれ発生状況

自重あるいは載荷荷重により，本体と支持点との接合部付近の下縁に曲げひびわれが発生し，接合面に沿って上縁に向かって伸びてゆく。そして，支点側に新しく曲げひびわれが発生し伸展し破壊に至る場合や，支点から本体側に斜めひびわれが発生し破壊に至ることや，支点から水平な補強筋に沿ったひびわれが発生し破壊に至ることなどが観察された。

3.2 破壊形式について

試験体の破壊形式については，

- 1) 曲げ破壊：境界面に発生した曲げひびわれにより破壊に至る。
- 2) せん断破壊：支持点部の支点(ケーブル穴)から本体との接合部の上部に向かって発生したせん断ひびわれにより破壊に至る。

3) 附着破壊：支持点部に配置した補強鉄筋に沿って発生した水平な附着ひびわれにより破壊に至る。

以上の3つのタイプに分類できるようなのである。各破壊形式とひびわれ状況を図-3に示す。

3. 3 最大荷重について

最大荷重は、本体上面の中央に設けたロードセルにより測定を行った。また、支承下にロードセルを設けて、各支点の反力についても測定を行った。破壊は、支持点部において左右同時あるいはいずれかの側で生じた。測定された最大荷重と支持点部の2支点反力の和とは必ずしも一致せず、若干の差異を生じているので、支持点部の耐力等の比較については、破壊側の支持点反力の最大値（以下、破壊荷重〔 P_{max} 〕という）により、比較することとした。

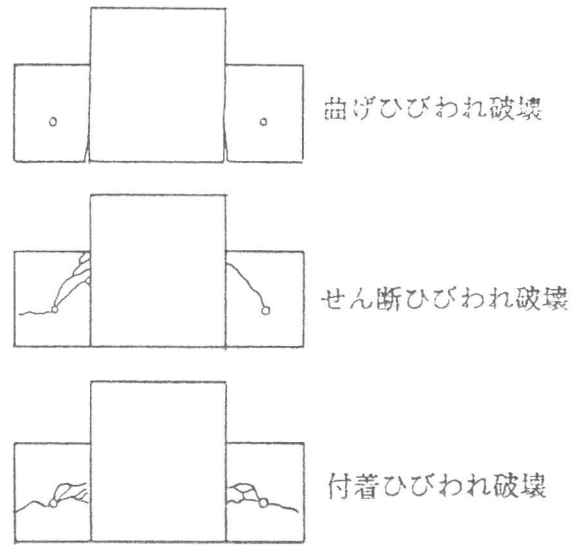


図-3 ひびわれの分類

(1) 補強鉄筋の定着方法の影響

試験体の形状が同一で、補強鉄筋が連続であり、補強鉄筋の定着方法のみ変化させた場合の、補強鉄筋の定着方法と破壊荷重ならびに破壊パターンとの関係を図-4に示す。図中のa, d, Pwは、試験体の形状で表-3中のa, d, 補強鉄筋を示している。Bは曲げ、Sはせん断、Fは附着の各破壊パターンを表している。また、定着方法や埋込み長についても記入した（以下同様）。

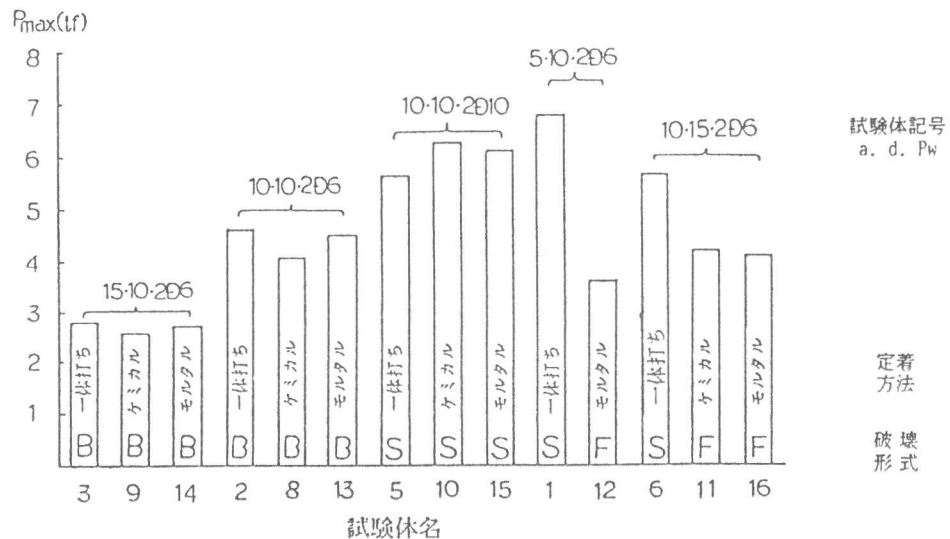


図-4 補強鉄筋の定着方法の影響

図-4より、補強鉄筋の定着方法が変化しても、破壊形式が同じとなり、曲げならびにせん断破壊となる場合には、一体打ちとケミカルアンカーならびにモルタルアンカーの破壊荷重は、各破壊形式毎ではほぼ同じ値になるようである。

しかし、補強鉄筋の定着方法が変化して、破壊形式がせん断破壊（一体打ち）から附着破壊へと異なる破壊形式となる場合には、一体打ちに比べてケミカルアンカーならびにモルタルアンカ

一の破壊荷重は大きく低下した。しかし、付着破壊したケミカルアンカーならびにモルタルアンカーの破壊荷重はほぼ同じ値となった。

(2) 補強鉄筋の埋め込み長さによる影響

試験体の形状が同一で、埋め込み長さのみ変化させた場合の補強鉄筋の埋め込み長さと破壊荷重ならびに破壊パターンとの関係を図一5に示す。なお、一体打ちで補強鉄筋が連続の場合の値を同図中に示す。

これより、補強鉄筋の埋め込み長さを15φとしても、破壊形式が同じであれば、ケミカルアンカーの場合の破壊荷重は、一体打ちの場合の値とほぼ同じ値になるようであった。

(3) 支持点と本体との接合面の処理方法の影響

試験体の形状が同一で、埋め込み長さとは接合面の処理方法のみを変化させた場合の、各試験体の破壊荷重ならびに破壊パターンを図一6に示す。なお、一体打ちで補強鉄筋が連続の場合の値を同図中に示す。

これより、接合面の処理方法を無処理とした試験体N022は、破壊形式が付着破壊となっているにもかかわらず、他の曲げ破壊した試験体の破壊荷重とほぼ同じ値となっている。しかし、無処理の場合には、曲げひびわれが自重により発生しているため、接合面は十分なチップング処理等により一体化を図るのが望ま考えられる。

3. 4 実験値と計算値との比較

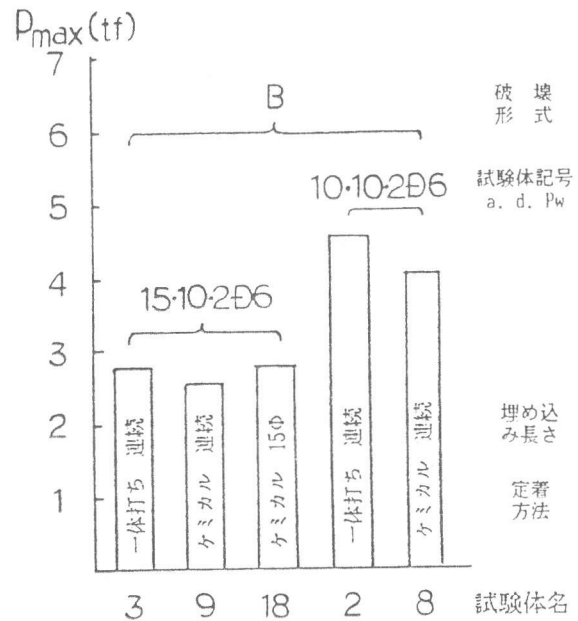
(1) 曲げ破壊

曲げ破壊した試験体の破壊荷重(P_{max})と曲げ耐力算定式[3]により求めた計算値(P_{cal})との比較を図一7に示す。なお、有効高さ d は補強鉄筋位置としている。これより、いずれも1.0以上で曲げ耐力算定式によれば安全側に曲げ破壊荷重を評価できるようである。

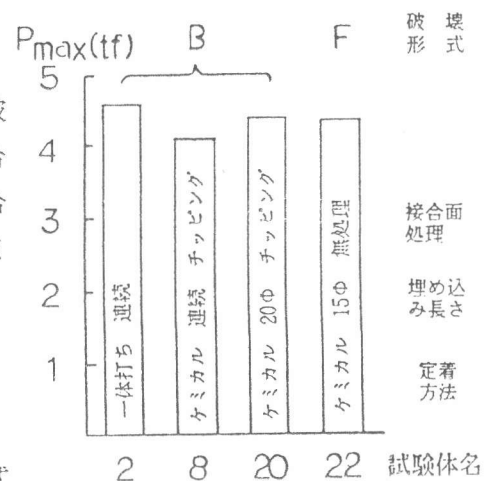
(2) せん断破壊

せん断破壊した試験体の破壊荷重(P_{max})とせん断耐力算定式[3] (ただし、 a/d による増大を考慮する)により求めた計算値(V_{cal})との比較を図一8に示す。なお、有効高さ d は補強鉄筋位置としている。

これより、いずれも1.0付近に分布していることから、せん断破壊荷重は、せん断耐力算定式[3]により求められるようである。



図一5 補強鉄筋の埋め込み長さによる影響



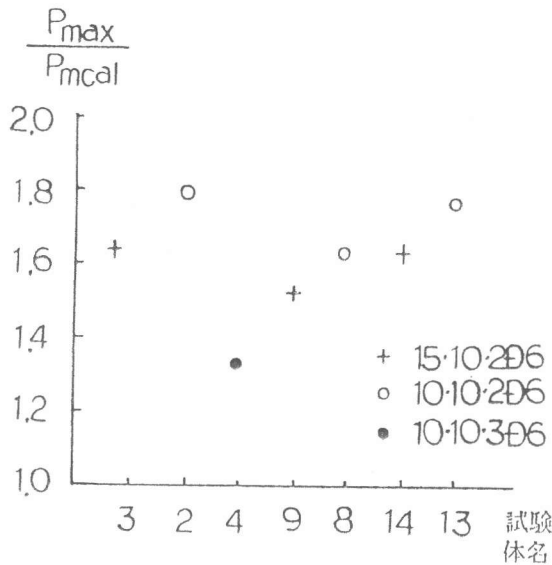
図一6 接合面の処理方法の影響

$$V_u = \alpha (f_{cpw})^{1/3} \beta d b w d$$

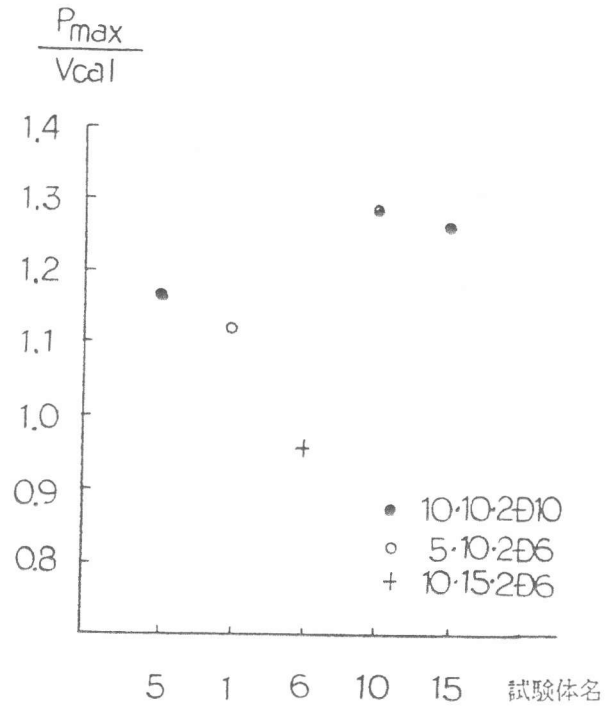
$$\alpha = 0.94 (0.75 + 1.4d/a) \quad a/d > 2.5$$

$$3.58 (a/d)^{-1.166} \quad a/d \leq 2.5$$

$$M_U = A_s f_y d (1 - 0.60 p f_y / f_c)$$



図一七 実験値と計算値との比較（曲げ破壊）



図一八 実験値と計算値との比較（せん断破壊）

5. まとめ

本試験研究の結果から、あと施工によるケーブル支持点部における部材の耐荷特性について、以下のことが明らかとなった。

1) 支持点部をはり本体にケミカルアンカーならびにモルタルアンカーにより定着し、本体への鉄筋の埋め込み長を15φ以上とすると、支持点の破壊形式が、曲げおよびせん断となる場合には、一体打ちの場合の破壊荷重とほぼ同程度の値となる結果が得られた。

また、本試験では、アンカーの種類による違いは特に認められなかった。

2) 支持点の破壊形式が曲げおよびせん断となる場合には、有効高さdを補強鉄筋位置とし、曲げ耐力算定式およびせん断耐力算定式[3]により、破壊荷重を求めることができる。

3) 破壊形式が付着破壊となる場合には、一体打ちの場合の破壊荷重に比べて大きく低下する。設計法を明らかにするためには、付着破壊の解明が重要である。

4) 実施工では、接合面は十分なチッピング処理等により、一体化を図る必要があると考えられる。

参考文献

[1] 森本峰夫：外ケーブル方式によるPC構造物の変遷，プレストレストコンクリート VOL.32 NO.5, 1990. 9~10

[2] 宮本征夫・斉藤啓一：アウトケーブルを用いたはりの支持点の力学的性状試験，第29回プレストレストコンクリート研究発表会講演概要，1989年11月

[3] 土木学会コンクリート標準示方書設計編（昭和61年制定）