

(74) 外ケーブル方式PC橋梁におけるデビエータ部の力学的特性

日本大学理工学部 正会員 柳沼 善明  
日本大学理工学部 富塚 勉

1. はじめに

外ケーブル方式を用いたPC橋梁は、外ケーブルを定着部間で偏向して配置する場合、外ケーブルを保持し、引張力が橋梁部材に伝達されるようにデビエータが設けられる。このデビエータの安全性が、橋梁全体の安全性確保に大きな役割を担っている。しかし、デビエータ部に関する研究は少なく、力学的挙動がまだまだ明確になっていないのが現状である。

本研究では、デビエータの力学的挙動を明確にすることを目的とし、ダイアフラム形式についてデビエータのモデル化を行い、ダクト間隔、補強鉄筋の有無に着目した供試体について載荷試験を行い、デビエータの力学的特性について検討したものである。

表-1 実験条件

供試体 番号	供試体寸法 [mm]			補強鉄筋		ダクト間隔 [ $L_d/\phi$ ]
	幅[W]	厚さ[D]	高さ[H]	有無	配置方法	
NB-0	250	150	300	無	—	0.5
NB-0.5	250	150	300	無	—	
NB-0.75	250	150	300	無	—	
NB-1	250	150	300	無	—	1
NB-2	250	150	300	無	—	2
NB-3	250	150	300	無	—	3
ND-1	250	150	300	有	1段配置	1
ND-2	250	150	300	有	1段配置	2
ND-3	250	150	300	有	1段配置	3
NE-3	250	150	300	有	2段配置	3
NF-1	250	150	300	有	—	1段配置
NF-2	250	150	300	有	—	
NF-3	250	150	300	有	—	

2. 供試体および実験方法

本実験に用いた供試体は、ダイアフラム形式のデビエータをモデル化したものである。表-1に示すように、外ケーブルが1段に配置された場合と多段配置された場合について、ダクト間隔、補強鉄筋の有無、および補強鉄筋の配置を変化させたものについて作製した。供試体の形状は、図-1に示すように、供試体高さ(H)を300mm、幅(W)を250mmの一定とし、NBシリーズは補強鉄筋無しでダクトを1段配置と多段配置にしダクト間隔を  $L_d/\phi = 0.5 \sim 3.0$  まで変化させたもの、NDシリーズは補強鉄筋をダクト間の中央に1段配置し、 $L_d/\phi = 1.0 \sim 3.0$  まで変化させたもの、NEシリーズは補強鉄筋をダクト間に2段配置し、 $L_d/\phi = 3.0$  としたもの、NFシリーズはダクトを1段配置とし、補強鉄筋の位置を変化させたものである。ここに、 $L_d$ はダクト間隔、 $\phi$ はダクトの直径である。なお、ダクトの直径は  $\phi = 40$ mm で丸棒の径は35mmで行った。

実験方法は、図-2に示すように、モデル化した供試体の上下を逆に設置し、丸棒で載荷する支圧強度試験である。供試体の底部には、摩擦による拘束をなくすために、テフロンシートを2枚重ねて使用した。また、供試体の性状については、各荷重毎にひずみ、およびひび割れ状況の測定を行った。

コンクリートは、呼び強度  $35\text{N/mm}^2$ 、 $G_{max}=20\text{mm}$  で普通セメントを用いたレディーミクストコンクリートを使用した。また、補強鉄筋はD10の異形鉄筋を使用した。これら使用材料の力学的性質は表-2に示す通りである。

表-2 材料の力学的性質

コンクリート		
圧縮強度	引張強度	弾性係数
[ $\text{N/mm}^2$ ]	[ $\text{N/mm}^2$ ]	[ $\text{kN/mm}^2$ ]
46.2	2.71	30.6
鉄筋		
降伏強度	引張強度	弾性係数
[ $\text{N/mm}^2$ ]	[ $\text{N/mm}^2$ ]	[ $\text{kN/mm}^2$ ]
349.6	509.2	178.2

図-1 実験方法

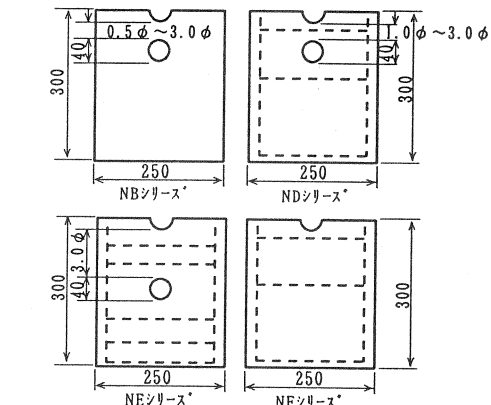


図-2 供試体の形状

3. 実験結果および考察

(1) 破壊状況

載荷試験後における供試体の破壊状況を図-3に示した。補強鉄筋無しの供試体 (NB シリーズ) は、ダクトが1段配置されている場合、載荷点付近にくさびが形成され、くさびの頂点から1本のひび割れが見られた。ダクトが多段に配置された場合、ダクト間隔が小さい供試体は、丸棒の頂点付近から数本、放射状にひび割れが中間ダクトまで発生し、ダクト間隔が大きくなるに従い、ダクト間に1本のひび割れが発生していた。中間ダクトから下については、ダクト下端の頂点付近からほぼ直線的に供試体下端まで発生していた。

補強鉄筋有りの供試体 (ND および NE シリーズ) は、ダクト間のひび割れについては、ダクト間隔が変化しても、載荷点付近から放射状にひび割れが広がっている。中間ダクトから下のひび割れについては、ダクトからの近い距離に補強鉄筋が配置されている場合、ダクト下に放射状のひび割れが見られるが、ダクトからの距離が離れて配置されるに従って、ほぼ1本のひび割れが発生していた。また、ダクト間に補強鉄筋を2段配置した場合は、載荷点付近からダクト間全体に放射状のひび割れが発生し、中間ダクトの下までひび割れが伸展していた。

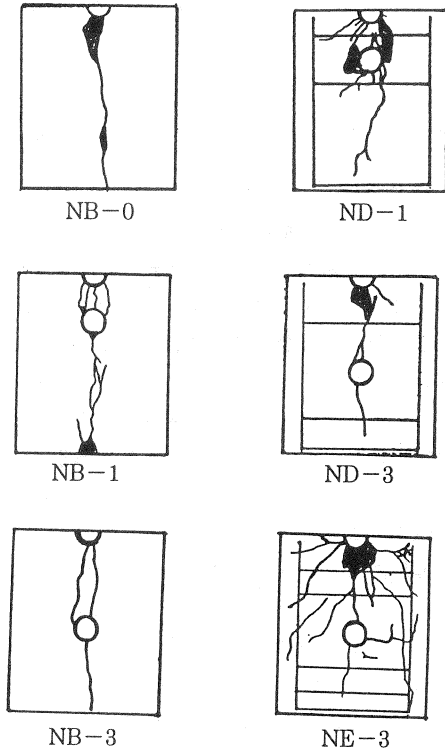


図-3 ひび割れ状況

(2) 最大耐力

$P_{max}/D$  と  $L_d/\phi$  の関係を図-4(a)に示した。ここに  $P_{max}$  は最大荷重、 $D$  は供試体厚さである。図に示すように、補強鉄筋の有無にかかわらず、ダクト間隔が大きくなるに従い耐力は増加し、ダクト間隔が  $L_d/\phi=2.0$  以上でほぼ一定となる傾向を示した。また、 $L_d/\phi$  が1.0から2.0に変化した場合、 $L_d/\phi=1.0$  は、 $L_d/\phi=2.0$  と比べると約20%前後低下していた。補強鉄筋の有無については、ダクト間隔にかかわらず、補強鉄筋無し (以下：無補強) 供試体の1.5~2.0倍であった。また、ダクトが1段配置のものと比較すると多段配置の  $L_d/\phi=0.5$  は、最大耐力が約75%低下していた。以上のことから、ダクト間隔は、2倍以上とることによって急激な耐力低下はなくなると考えられる。

次に、図-4(b)に示した  $P_{max}/D$  と  $\phi/L_d$  の関係から実験式を求めると、実験式は式(1)に示すようになった。

$$P_{max}/D = 1.695e^{-0.722(\phi/L_d)} \quad \text{--- 式(1)}$$

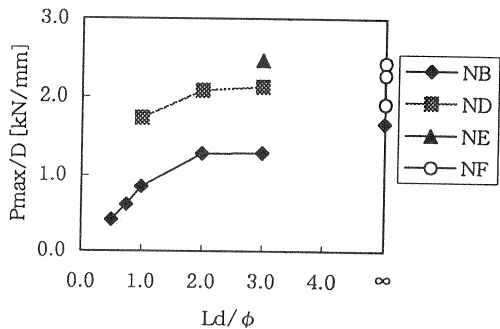


図-4(a) 最大耐力と  $L_d/\phi$  の関係

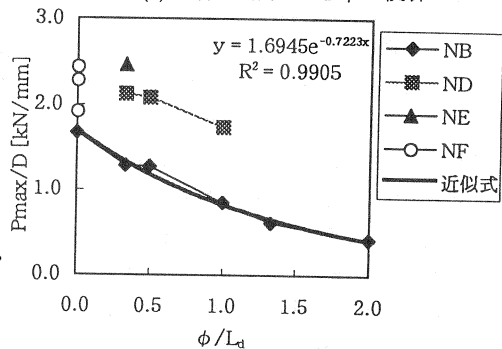


図-4(b) 最大耐力と  $\phi/L_d$  の関係

(3) 最大耐力の比較

丸棒による支圧強度試験の最大耐力の算定は、大庭らの行った実験による提案式が上げられる<sup>1)</sup>。これによると、無補強の供試体については式(2)、補強鉄筋有りの供試体は式(3)で求められるとしている。

$$P_{cal} = (0.428 \times A + 0.01) \times f'c \quad \text{-----式(2)}$$

ここで; A: 支圧面積 (=  $\phi \times D$ )

$f'c$ : コンクリートの圧縮強度

$$P_u = (0.428 \times A + 0.01) \times f'c + 1.31 \times H_s \quad \text{---式(3)}$$

ここで;  $H_s$ : 鉄筋の引張力 ( $f_y \cdot A_s$ )

$f_y$ : 鉄筋の降伏強度

これらの式を用いた計算結果と実験結果を表-3に示した。図-5は無補強供試体における  $P_{max}/P_{cal}$  とダクト間隔の関係について示したものである。ダクト間隔が  $L_d = 1 \cdot \phi$  付近で  $P_{max}$  と  $P_{cal}$  がほぼ一致する傾向を示し、 $L_d = 2 \cdot \phi$  以上になると、 $P_{max}$  が  $P_{cal}$  の2倍前後になっていた。

また、図-6は補強鉄筋有りの供試体における  $P_y/P_u$  とダクト間隔の関係について示したものである。ダクト間隔が変化しても  $P_u$  の1.3倍前後とほぼ一定の値であった。ここに  $P_y$  は鉄筋が降伏したときの供試体の荷重である。

これらの結果は、大庭らの実験が、ダクト間隔をダクト直径の1倍のみで、支圧面積を変化させて行っている。そのためか、計算値はダクト間隔が  $L_d = 1 \cdot \phi$  では良く一致し、 $L_d = 2 \cdot \phi$  以上では実験値が大きくなる傾向を示したものと考えられる。また、補強鉄筋を配置した供試体の計算結果がほぼ1.3前後の一定値であったのは、鉄筋の降伏強度を用いた計算式であるからだと考えられる。

(4) 補強鉄筋の挙動

NDシリーズについて荷重と鉄筋ひずみの関係を示したのが図-7である。載荷点からの鉄筋位置が近いND-1は、中間ダクト上下における挙動がひび割れ発生荷重 ( $P_{cr}$ ) 以降もほぼ同じ傾向を示し、中間ダクトからの鉄筋位置が大きくなるND-2は  $P_{cr}$  以降、ND-3では最大荷重の1/3以降と低荷重で鉄筋挙動に差が表れていた。また、ND-3の供試体は、鉄筋が降伏に至る前に最大耐力に達していることから、ダクト中心からの鉄筋配置をあまり大きくとっても鉄筋の効果がないと考えられる。

表-3 実験結果および計算結果

補強鉄筋なし			(単位: kN)
供試体名	最大荷重( $P_{max}$ )	計算値( $P_{cal}$ )	$P_{max}/P_{cal}$
NB-0	252.40	105.03	2.40
NB-0.5	61.20	103.99	0.59
NB-0.75	91.90	105.38	0.87
NB-1	127.60	104.55	1.22
NB-2	194.20	105.38	1.84
NB-3	195.40	105.31	1.86
補強鉄筋あり			(単位: kN)
供試体名	鉄筋降伏荷重( $P_y$ )	計算値( $P_u$ )	$P_y/P_u$
ND-1	242.52	235.50	1.03
ND-2	304.30	236.12	1.29
ND-3	304.89	234.94	1.30
NF-1	352.94	235.43	1.50
NF-2	333.72	235.50	1.42
NF-3	274.59	235.29	1.17

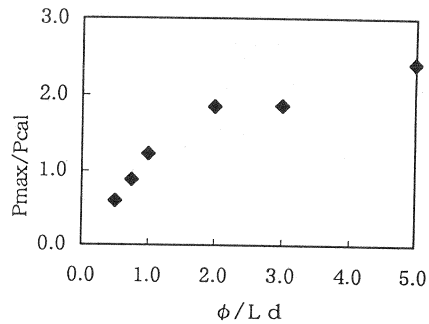


図-5  $P_{max}/P_{cal}$  とダクト間隔の関係

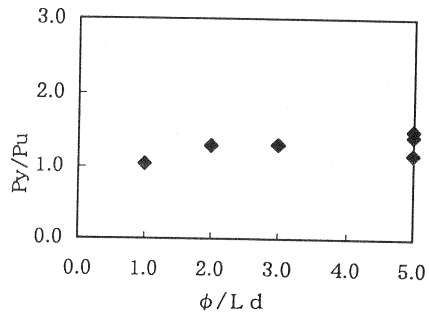


図-6  $P_y/P_u$  とダクト間隔の関係

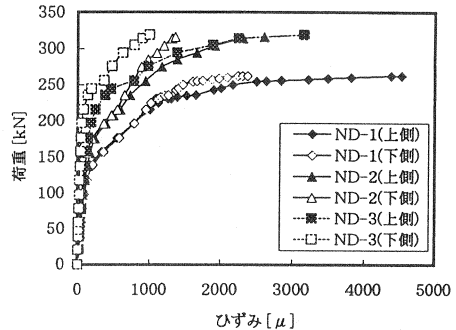


図-7 NDシリーズの荷重とひずみの関係

次に、図-8はNFシリーズの荷重と載荷点の下に配置した鉄筋ひずみの関係について示したものである。図に示すように、 $P_{cr}$ に達し鉄筋ひずみが増大するまでの耐力が最も大きいのが、載荷点から40mmに補強鉄筋を配置したNF-2であった。しかし、最大耐力が最も大きい供試体は載荷点から20mmに補強鉄筋を配置したNF-1であった。これは、下側に配置した鉄筋が、供試体のほぼ中央に配置されていたためと考えられる。このことから、補強鉄筋の位置は、載荷点側から40mm以内に配置するのがよいと思われる。

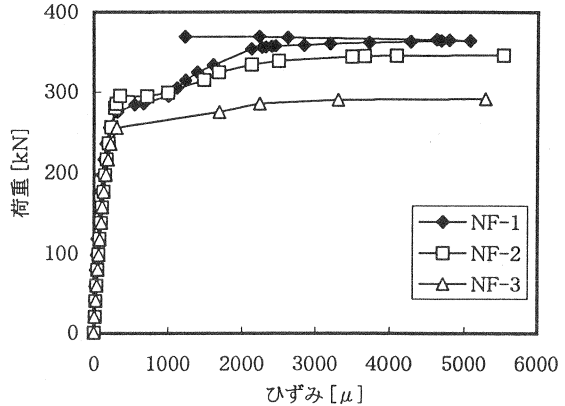


図-8 NFシリーズの荷重とひずみの関係

(5) FEM 解析値と実験値との比較

FEM 解析による供試体高さ方向の応力分布と本実験で得られた応力分布の比較を行った。図-9はこれらの結果について示したものである。応力分布は実験値が解析値より大きい傾向を示し、実験値は平板の支圧応力分布に似た傾向を示していた。これは、FEM 解析がコンクリートのひび割れを無視して計算されていることと、実験値にポアソン比の影響を考慮しなかったためと考えられる。

また、解析値は、ダクトの間隔に関わらず、載荷点下とダクト近傍に引張応力の集中が見られた。このことから、補強鉄筋は、ダクト間の中央ではなくある程度ダクトに近い位置に配置すべきであると考える。

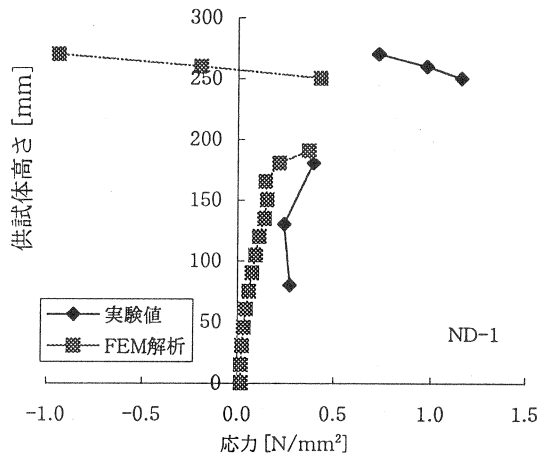


図-9 試験体高さ方向の応力分布

4. まとめ

本研究では、外ケーブル方式 PC 橋梁におけるデビエータ部分をモデル化した支圧強度試験を行い、力学的特性について検討を行った。結果をまとめると以下のようなものである。

- (1) 破壊は、補強鉄筋を配置することで、ひび割れを分散させ、急激な破壊を防ぐことができる。
  - (2) 最大耐力は、補強鉄筋の有無にかかわらず、ダクト間隔が  $L_d=0.5 \phi \sim 2.0 \phi$  の範囲で大きくなる傾向を示し、ダクト間隔が  $2.0 \phi$  以上になるとほぼ一定の値となった。
  - (3) 大庭らの実験式による計算結果との比較で、無補強供試体については  $L_d=1 \cdot \phi$  で良く一致する傾向を示し、補強鉄筋有りの供試体では、計算値の 1.3 倍とほぼ一定の値を示した。
  - (4) FEM 解析値と実験値との比較より、載荷点下および中間ダクトの近傍に引張応力の集中が見られた。
- 以上のことから、ダクト間隔は、 $2 \cdot \phi$  以上とするのが良く、補強鉄筋はダクト縁から 40mm 以内に配置するのが最も補強効果があると思われる。

参考文献

1) 大庭光商、築嶋大輔、石橋忠良：斜張橋のサドル定着部の研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.2、1995、pp.685-690