

# 地中構造体の面外せん断補強技術「マルチプルナットバー」の開発

田中 浩一 江尻 讓嗣

## Out-of Plane Shear Reinforcing Method “Multiple Nuts Bar” for the walls of Underground RC Structures

Koichi Tanaka Joji Ejiri

### Abstract

A retrofit method was developed for box culvert walls, floors and roofs. This method is inserting “Multiple Nuts Bar” as additional shear reinforcement into drilled holes from the inside of culvert. The “Multiple Nuts Bar” is made from high strength steel bar in order to reduce drilling work, and it is having multiple nuts as anchor at the end. Pull out test and shear strength test were conducted using the “Multiple Nuts Bar” to propose shear design code. The followings are obtained. 1) Required bearing area-bar area ratio is over 10, 2) When RC section becomes large, shear contribution of the “Multiple Nuts Bar” increases.

### 概要

地下カルバートの外壁のように外周が地盤と接触している鉄筋コンクリート構造体を対象に、あと施工せん断補強筋を用いて内空側から施工できるせん断補強工法を開発した。本工法は工期短縮を図るため、1本あたりのあと施工せん断補強筋の負担張力を高めることとし、PC鋼棒の両端部に複数個の機械式定着を設けたマルチプルナットバーを使用する。本研究では、マルチプルナットバーの定着体の性状とせん断補強効果を実験で確認し、せん断耐力評価式を提案する。実験の結果、マルチプルナットバーの定着体に必要な総支圧面積比は10以上であること、マルチプルナットバーのせん断負担は補強対象の断面が大きいほど増加することがわかった。

### 1. はじめに

古い設計基準で建設された地下カルバートでは、コンクリートの許容せん断応力が高く設定されていたため、せん断補強筋がない場合が多い。したがって、地震時のような繰返し荷重に対してせん断破壊する可能性があり<sup>1)</sup>、壁の面外方向を補強する必要性が指摘されている。

橋梁における耐震一次部材である柱のせん断補強のように柱外周を取り囲んで拘束するような方法は、このような地下構造物の耐震補強として適用することができない。その理由は、壁を取り囲むためには、その地下構造物背面の地盤を撤去する必要があるためである。それは工事費用や工期が膨大になるだけでなく、都市部における地下カルバートであれば地上にビルや道路などがあり、背面地盤の掘削は事実上不可能と言える。

このような地下構造物の面外せん断補強工法について、既往の研究がある。例えば山村らの研究<sup>2)</sup>は、壁を面外方向に削孔し、その孔に鉄筋を差し込んで補強する方法を対象にしている (Fig.1参照)。差込む鉄筋はストレートであり、通常のスターラップや帯鉄筋のように主鉄筋を取り囲んでいない。そのためにせん断補強効果はフック等を有する通常のせん断補強筋を用いた場合に比べて60%程度になると報告されている。

主鉄筋を取り囲んでいないせん断補強筋のせん断補強効果に関する研究として、せん断補強筋の不完全な定着に関する既往の研究がある。例えば前川らの研究<sup>3)</sup>では、

アルカリ骨材反応による膨張に伴い、帯鉄筋が折り曲げられた位置で破断した場合、残存するせん断耐力を評価する方法を示している。その方法は定着長さ分を減じた解析手法で評価するものである。その実験結果では、せん断補強筋の寄与分は通常のせん断補強筋を用いた場合に比べて50%程度になると報告されている。

小林らの研究<sup>4)</sup>は一面から柱をせん断補強する方法である。せん断耐力評価に関して言及していないが、挿入する鉄筋はストレートのままでもせん断破壊を曲げ破壊へ移行させる効果があると報告されている。

これらの研究結果に共通することは、定着が不完全であっても異型鉄筋であればせん断補強効果が見込めることと、せん断耐力が設計せん断耐力<sup>5)</sup>の100%までは達しない、ということである。

このような壁のせん断補強を省力化するには、山村らの研究<sup>2)</sup>でも述べられているが、削孔本数の低減が必要

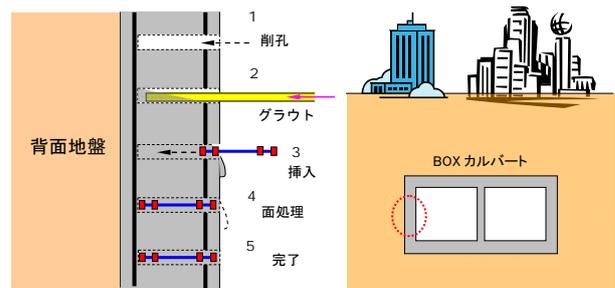


Fig.1 本工法の面外せん断補強概念図  
Outline of This Method



Fig.2 マルチプルナットバーの定着体形状 (φ13)  
Shape at the End of Multiple Nuts Bar

である。そこで、本工法ではせん断補強筋先端部の定着を改善し、せん断補強筋自身をPC鋼棒として高強度化した。PC鋼棒をコンクリート中へ定着することを意図したものととして、中空PC鋼棒を使用したアバット装置を必要としないプレテンション方式<sup>6)</sup> (NAPP工法)がある。しかしながら、NAPP工法に使用する機械式定着具<sup>7)</sup>は大型なので、削孔径を大きくする必要があり、工期や工事費用の観点、ならびに既存構造物の主鉄筋切断リスクが高まる点から好ましくない。加えてポストテンションを与えるための機構が複雑であり部品数が多く、価格が高価という課題がある。

そこで、Fig.2に示すようなPC鋼棒に用いる機械式定着具として、小さい機械式定着具<sup>7)</sup>を直列に複数個取り付けて支圧面積を大きくした定着体（以下、マルチプルナットバー）を考えた。このように機械式定着具を直列に並べた場合の定着性状、ならびに、それをせん断補強筋として用いた場合のせん断補強効果に関する既往の研究は、筆者が調査した限り見つかっていない。

本研究では、マルチプルナットバーの定着体をコンクリートブロックへ定着して引抜き実験を行い、その破壊性状から効率的な直列配置の機械式定着具の配置を決め、それをマルチプルナットバー両端部の定着体とする。その後、あと施工によりマルチプルナットバーを配置した梁のせん断実験を行い、せん断補強効果を定量的に把握して、マルチプルナットバーを用いた場合のせん断耐力評価式を提案する。

## 2. 引抜き実験

### 2.1 定着体の形状

2.1.1 試験体の形状 コンクリートブロック（幅×長さ×厚さ：1000mm×2100mm×700mm）3体を製作した後、ドリルにより削孔を行った。削孔数は1体あたり平面的に2×6=12箇所とし、Fig.3およびTable 1に示す定着体を有するPC鋼棒をセットした後、無収縮グラウトを上方より充てんした。削孔径は本工法の機械式定着具（以下、ナットと称す）の直径が32mmでもプレミックスタイプの無収縮グラウトが充てんできる大きさとした。

2.1.2 ナットの直径 Fig.4に示すように、PC鋼棒φ13用とφ17用に用いる機械式定着具の直径はいずれも32mmとした。PC鋼棒φ13およびφ17の場合、このナッ

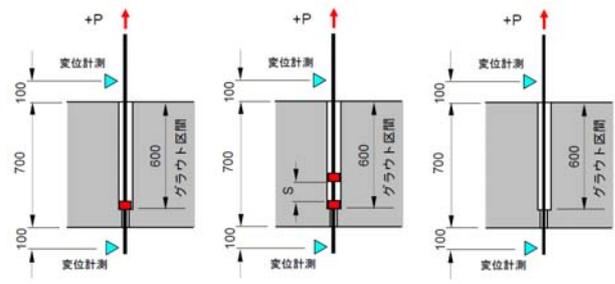


Fig.3 引抜き実験における機械式定着具の配置  
Layout of Mechanical Anchor in Pull Out Test

Table 1 付着実験の概要  
The Outline of Pull Out Test

試験体名	PC鋼棒径 (mm)	ナット個数	ナット間の距離 S (mm)	試験体数
TYPE-1	13	1	—	3
TYPE-2a	13	2	25	3
TYPE-2b	13	2	50	3
TYPE-2c	13	2	75	3
TYPE-2d	13	2	100	3
TYPE-2e	13	2	150	3
TYPE-3	13	0	—	3
TYPE-4	17	1	—	3
TYPE-5a	17	2	25	3
TYPE-5b	17	2	50	3
TYPE-5c	17	2	100	3

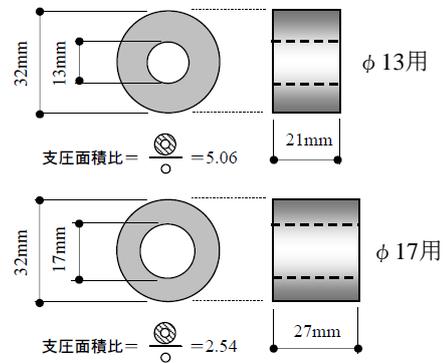


Fig.4 マルチプルナットバーの機械式定着具  
Detail of Anchor Nut for Multiple Nuts Bar

ト一つあたりの支圧面積比はそれぞれ5.0, 2.5である。村上らの研究<sup>8)</sup>では、機械式定着具の支圧面積比は2.0~6.0の範囲であれば、鉄筋 (SD345) の降伏荷重程度で引き抜いても定着部の破壊性状に変化がないと報告されている。PC鋼棒 (C種) は鉄筋 (SD345) の約3倍の降伏強度を有するので、この定着体に必要な支圧面積比の最小値は6.0 (2.0×3) 程度と予想できる。支圧面積比とはFig.4に示したようにコンクリートの支圧を受ける面積を鉄筋断面積で除した値である。一方、鉄筋 (SD345~SD490) に用いる一般的な既存の機械式定着具は、支圧面積比が約5.0である。そこで、PC鋼棒にφ13を用いた場合にナッ

ト一つあたりの支圧面積比が5.0となるように、ナットの直径を32mmとした。一方、PC鋼棒φ17では支圧面積比は2.5となるが、マルチプルナットバーのナット個数をφ13、φ17とも2個とすると、φ17における支圧面積の総和は5.0 (2.5×2個) となり、前述した村上らの研究結果における支圧面積比の最小値 (2.0×3=6.0) に近い値となる。そこで、ナットの直径を32mmとしてφ17へ使用しても、定着体として十分な強度を有すると考えた。

**2.1.3 PC鋼棒** 機械式定着具による定着性状を確認するため、ナットの無い区間、およびナット間以外にはネジ山加工を施さないだけでなく、撥水材を塗布して充てんするモルタルとの付着力（膠着力）を取り除いた。

**2.2 使用材料**

ブロックおよびグラウト材の圧縮強度は、それぞれ34.2N/mm<sup>2</sup>、59.6N/mm<sup>2</sup>であった。PC鋼棒の降伏強度は0.2%耐力で1261N/mm<sup>2</sup>であった。

**2.3 載荷方法**

ブロックに反力を取る自己反力型とし、ジャッキにてPC鋼棒の降伏強度相当まで単調載荷した。

**2.4 実験結果**

**2.4.1 機械式定着が1個の場合** PC鋼棒上部の変位の一例をFig.5に示す。いずれのPC鋼棒においても降伏強度に相当する荷重まで荷重低下は生じない。このことから、マッシブなコンクリートの中、すなわち大きな支圧応力が期待できるコンクリート中へ定着する場合、支圧面積比が2.5のナットが1つあればPC鋼棒のように高強度であっても定着できることがわかった。また、PC鋼棒下端の変位と、荷重を総支圧面積で除した支圧応力との関係をFig.6に示す。同図の右縦軸には充てんしたモルタルのシリンダー強度で支圧応力を除した値を示した。PC鋼棒下端の変位は、ナットがモルタルにめり込んだ深さを示す。ピーク荷重に達したときのPC鋼棒下端の変位は、φ13では1.0mm未満であるのに対してφ17では6.0mm程度となっている。したがって、支圧面積部分においてモルタルは粉体化圧壊<sup>8)</sup>していると予想される。

**2.4.2 機械式定着が複数個の場合** ナットが複数個の場合でも、PC鋼棒の降伏強度に相当する荷重まで抜け出しは生じなかった。ピーク荷重に達したときのPC鋼棒下端の変位をFig.7に示す。左の縦軸はφ13の場合の値、右の縦軸はφ17の場合の値である。いずれの場合もナットの間隔が大きくなるほど、ピーク荷重時におけるPC鋼棒下端の変位は小さくなる傾向にある。直列にしたナットが各々定着効果を発揮するには上下ともモルタルにめり込んで支圧応力を発生させたほうが良い。そのような観点から、ナット間の距離はφ13では75mm以下がよいと言える。またφ17の場合はφ13の場合に比べて支圧応力が高いために、めり込み量が著しく大きい。

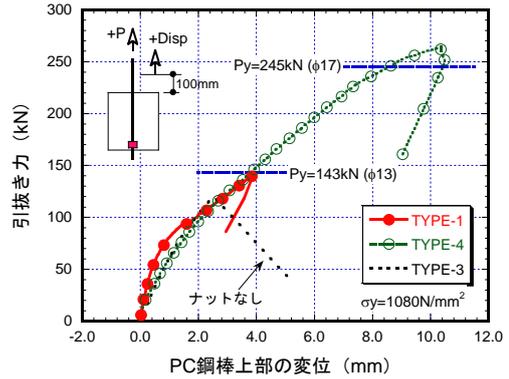


Fig.5 引抜き力とPC鋼棒上端の変位  
Relationship between Load and Displacement Including Elastic Deformation of Bar

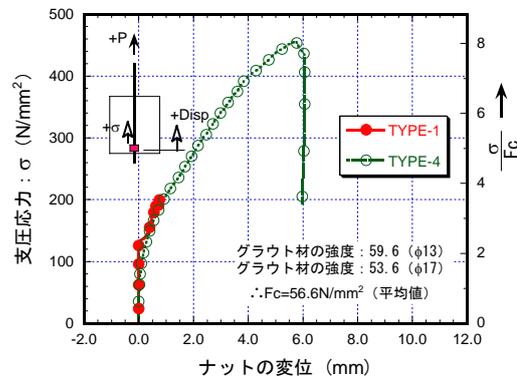


Fig.6 支圧応力とPC鋼棒下端の変位  
Stress-Displacement Curve at the Bottom of Mechanical Anchor

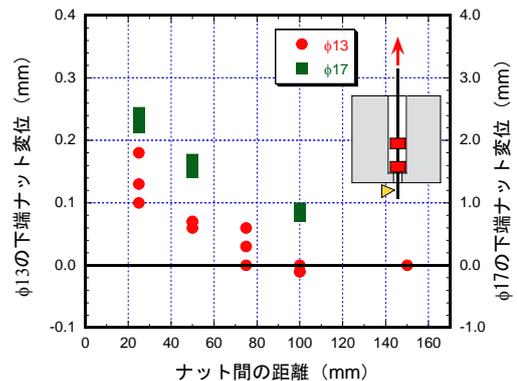


Fig.7 機械式定着の間隔とPC鋼棒下端の変位  
Anchor Displacement at the Peak Stress of Bar

**2.4.3 機械式定着がない場合** 機械式定着を設けずにネジ山加工のみ（撥水処理なし）を施した場合、Fig.5に示すように降伏強度の84%で抜け出した。このことから、前述のナットを有した場合に降伏荷重まで抜け出しが生じない理由は付着力ではなく、このナットの支圧力より定着体が改善されたためと考えてよい。

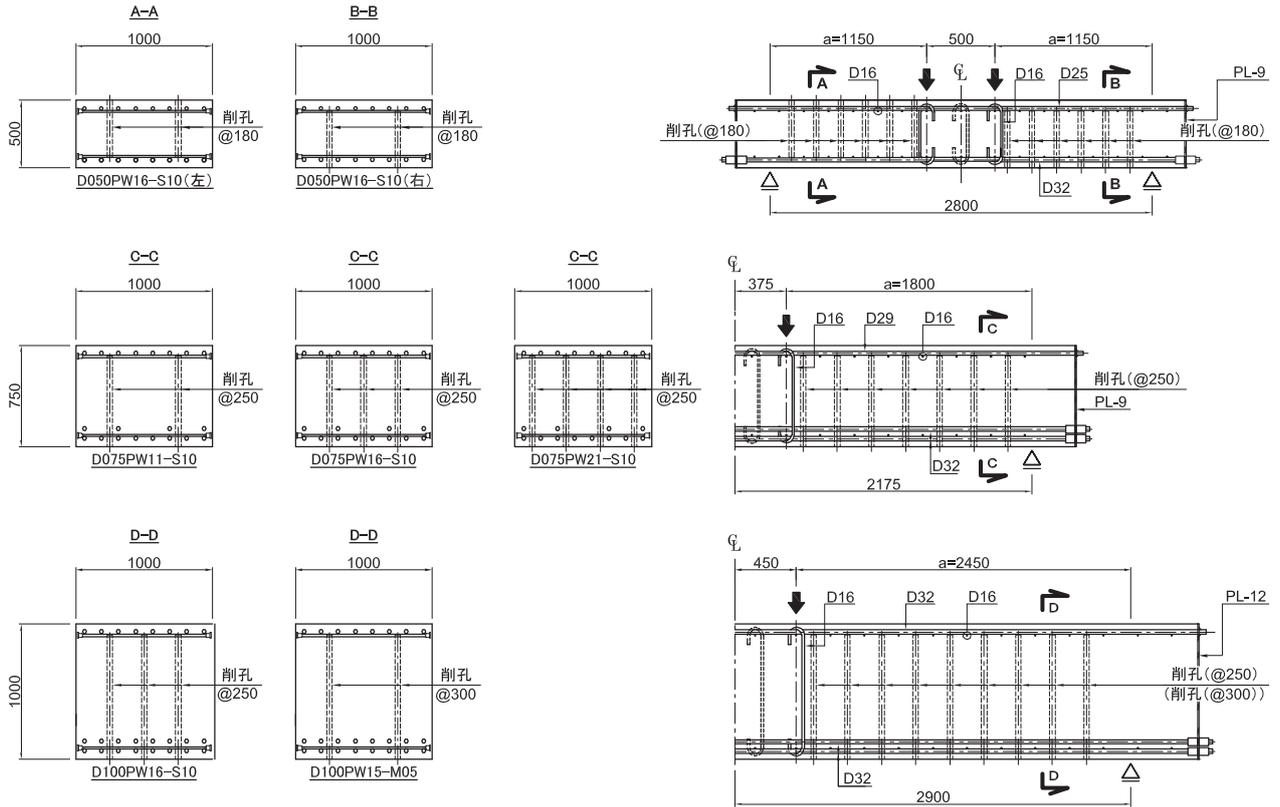


Fig.8 せん断試験体の構造配筋図と加力方法  
Detail of Specimens and Loading Point

Table 2 コンクリートの配合  
Concrete Mix Proportion

水 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	細骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材 最大寸法
168	276	61	813	1026	20mm

\*空気量: 4.5% \*\*セメントの種類: H

Table 3 コンクリートとモルタルの材料試験結果  
Mechanical Properties of Concrete and Mortar

試験体	コンクリート			モルタル せん断スパン左 (せん断スパン右)	
	材令 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	材令 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
D050PW16-S10	37	31.9	23.5	18 (15)	75.5 (78.2)
D075PW00	28	32.4	23.2	-	-
D075PW11-S10	29	32.4	23.1	10 (7)	80.6 (72.8)
D075PW16-S10	30	29.3	22.3	11 (8)	-
D075PW21-S10	33	31.7	23.3	14 (11)	89.9 (81.4)
D100PW16-S10	44	33.9	24.1	23 (20)	78.3 (73.2)
D100PW16-M05	42	32.8	23.8	25 (22)	-

### 3. せん断実験

#### 3.1 試験体

3.1.1 削孔方法 試験体の構造配筋図をFig.8に示す。左側のせん断スパンでは上から削孔し、右側のせん断スパンでは下からコアドリルで削孔した。削孔先端の処理はドリルにより行った。削孔深さは最外縁主鉄筋から8mm手前の位置にナットが来るように管理した。すなわち、削孔は実際の施工と同様に貫通していない。これは削孔奥行き方向の主鉄筋を傷つけないことや地下水などの漏水を防ぐため、削孔を貫通させないためである。

3.1.2 形状寸法と配筋 パラメーターは断面高さとしせん断補強筋比である。いずれの試験体も断面の幅は1000mmとしたが、断面高さは500mm, 750mm, 1000mmの3種類とした。前述のように削孔深さを主鉄筋より手前としたため、通常のせん断補強筋のようにコンクリートストラット着地点である主鉄筋を取り囲んでいない。特に載荷点近傍では、あと施工せん断補強筋による拘束効果の低下が顕著となることが予想される。しかし、断面

高さが大きくなると、機械式定着体の位置が中立軸より上方の圧縮領域となる本数が多くなり、あと施工せん断補強筋の効果が有効高さ(圧縮縁から引張鉄筋の図心位置までの距離)の増加とともに大きくなるという仮説を考え、断面高さを主なパラメーターとした。

主鉄筋はせん断破壊が先行するように異形PC鋼棒(D32: SBPD1080/1230)を用いた。また壁状構造物を模擬するため配筋(D16: SD345)の端部には機械式定着を設け、平面ひずみ状態に近づけた。

PC鋼棒に取り付けたナットはFig.4に示したとおりである。せん断実験に用いたナット間の距離はφ13、φ17とも50mmとした。これは、付着実験で複数個のナットが直列で同時に支圧応力を発揮する間隔が75mm以下であることを考慮して定めた。マルチプルナットバーの挿入は予めモルタルを削孔部へ注入した後（プレグラウト式）とした。挿入前の試験体のせん断補強筋比は0%である。これを0.11%~0.21%となるよう本数を変えてマルチプルナットバーを挿入した。

**3.1.3 使用材料** 試験体に用いたコンクリートの配合をTable 2に示す。削孔のグラウトに用いたモルタルはプレミックスモルタルとした。コンクリートとモルタルの材料試験結果をTable 3に、使用した各種鋼材の材料試験結果をTable 4に示す。

**3.2 荷重方法**

Fig.8ならびにTable 5に示すように、いずれの荷重においてもアーチ機構よりトラス機構を卓越させるため、せん断スパン比 (a/d) を2.5以上<sup>9)</sup>の2.61とし、2点集中単調荷重とした。

**3.3 実験結果**

**3.3.1 せん断耐力とせん断力-変位関係** 実験で得られたせん断耐力をTable 5に示す。D075シリーズにおける梁試験体に作用したせん断力と荷重点における変位との関係について、せん断破壊したスパン側のみをFig.9に示す。マルチプルナットバーが増加するとともにせん断耐力は増加して、せん断補強筋を有しない場合の約2倍程度まで高めることができた。

**3.3.2 PC鋼棒のひずみ分布** せん断破壊した荷重におけるマルチプルナットバー内側のナット近傍とその中間部分で計測したひずみの分布図および破壊状況をFig.10に示す。ナット配置部分以外にネジ加工が施され

ていないD075シリーズやD100シリーズではPC鋼棒の深さ方向でバラツキがない。このことから内側ナット間のPC鋼棒はアンボンド状態であるといえる。またD075シリーズでは降伏ひずみ近傍まで、D100シリーズでは降伏ひずみを大きく超えた値となる部分がある。

**3.3.3 PC鋼棒の応力ブロック** 前述のひずみ分布を定量的に比較するために、Fig.11に示すように破壊したせん断スパン側においてPC鋼棒の応力ブロックを求め

Table 4 PC鋼棒の材料試験結果  
Mechanical Properties of Steel Bars

材料	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
主鉄筋:D32 (SBPD1080/1230)	1159	1293	200
せん断補強筋:φ13 (SBPR1080/1230)	1234	1309	207
せん断補強筋:φ17 (SBPR1080/1230)	1201	1290	207

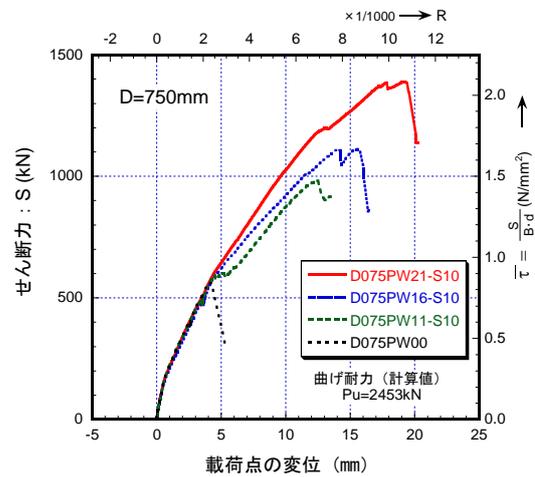


Fig.9 せん断力 (D075シリーズ)  
Load-Displacement Relationship (D075-series)

Table 5 せん断実験の結果一覧  
Experimental Results about Shear Strength and Reduction Factor

試験体	断面幅 B (mm)	断面高さ D (mm)	有効高さ d (mm)	せん断補強筋比 ρ <sub>w</sub> (%)	せん断スパン比 a/d	挿入したPC鋼棒	せん断耐力		計算値(内訳)		低減係数 $\frac{V_u - V_c^{cal}}{V_s^{cal}}$
							(実験値) V <sub>u</sub> (kN)	(計算値) V <sub>u</sub> <sup>cal</sup> (kN)	V <sub>c</sub> <sup>cal</sup> (kN)	V <sub>s</sub> <sup>cal</sup> (kN)	
D050PW16-S10	1000	500	440	0.16	2.61	2-φ13 @180	609	996	387	609	0.36
D075PW00	1000	750	667	0.00	2.61	—	561	530	530	0	—
D075PW11-S10	1000	750	667	0.11	2.61	2-φ13 @250	985	1195	530	665	0.68
D075PW16-S10	1000	750	667	0.16	2.61	3-φ13 @250	1112	1510	513	997	0.60
D075PW21-S10	1000	750	667	0.21	2.61	4-φ13 @250	1389	1856	526	1330	0.65
D100PW16-S10	1000	1000	905	0.16	2.61	3-φ13 @250	1837	2011	658	1353	0.87
D100PW15-M05	1000	1000	905	0.15	2.61	2-φ17 @300	1381	1944	658	1286	0.56

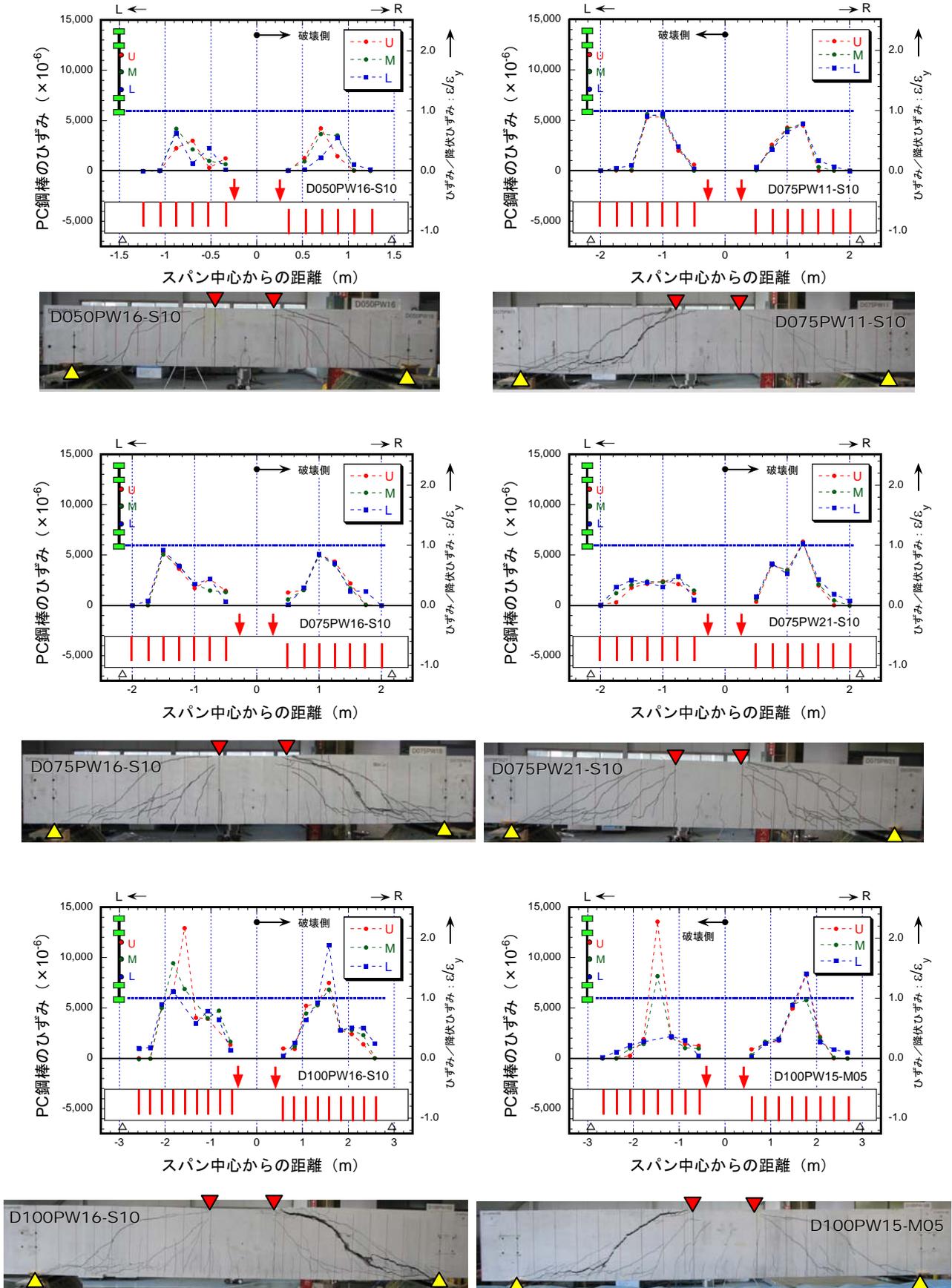


Fig.10 PC鋼棒のひずみ分布と破壊状況  
Strain Distribution of Multiple Nuts Bar and Side View of Tested Specimens

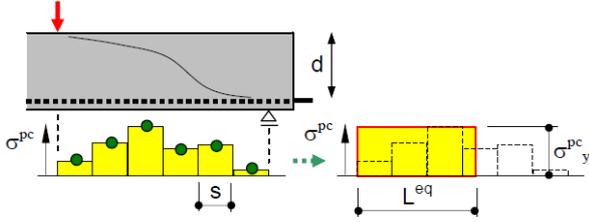


Fig.11 PC鋼棒の応力ブロックとその長さ  
Stress Block Length of Multiple Nuts Bar

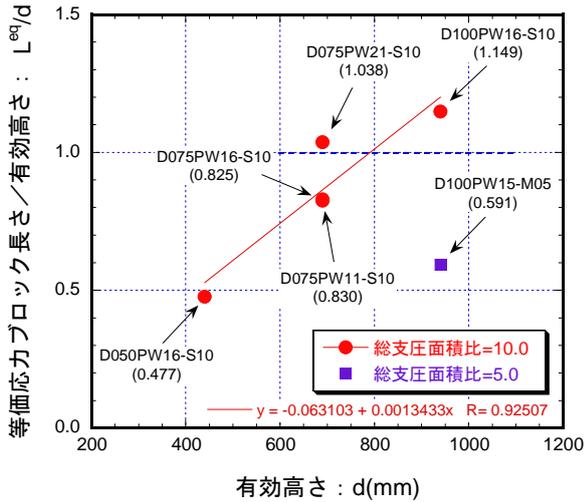


Fig.12 PC鋼棒の応力ブロックと有効高さの関係  
Relationship between Stress Block Length and Section Depth

その総和を材料試験より得たPC鋼棒の降伏強度で除すと、応力ブロックの長さ（以下、等価応力ブロック長さ）になる。この値を有効高さで除した値と有効高さとの関係をFig.12に示す。なお、分子の値はせん断スパン全長にわたるマルチプルナットバー応力を積分した値なので、コンクリートストラット角度を45度としたトラス理論値<sup>5)</sup>におけるせん断負担とは少し異なるが、これを有効高さで除すことでマルチプルナットバーのせん断寄与を異なる有効高さと同列に比較することができる。総支圧面積が10.0の場合（φ13の場合）、有効高さが大きくなるとこの値も大きくなる。一方、総支圧面積が5.0の場合（φ17の場合）、この値は総支圧面積が10.0の場合とかけ離れる。このことからφ17のマルチプルナットバーの支圧面積は不十分だったと言える。前述したとおり引抜き実験で良好な定着性状を示したにもかかわらずせん断補強効果が悪化した理由は、定着されたコンクリートの応力状態が引抜き実験のように支圧応力に対して十分な反力が期待できる状態と異なり、せん断スパン内では圧縮応力だけでなく引張応力も混在するため、総支圧面積不足により定着性能が悪化したためと考えられる。

3.3.4 PC鋼棒のせん断寄与 せん断耐力の実験値とせん断補強筋比との関係をD075シリーズについて整理したものがFig.13である。せん断補強筋比とせん断耐力

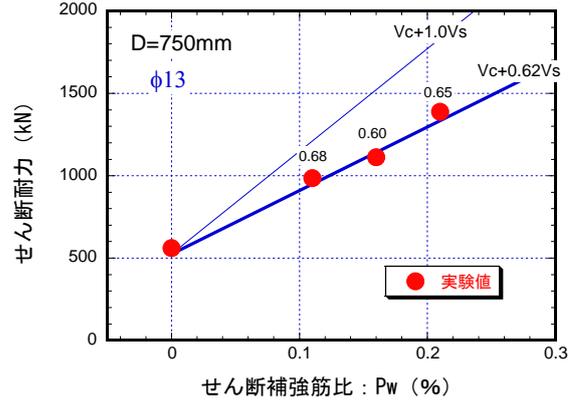


Fig.13 せん断耐力とせん断補強筋比との関係  
Relationship between Shear Strength and Shear Reinforcement Ratio

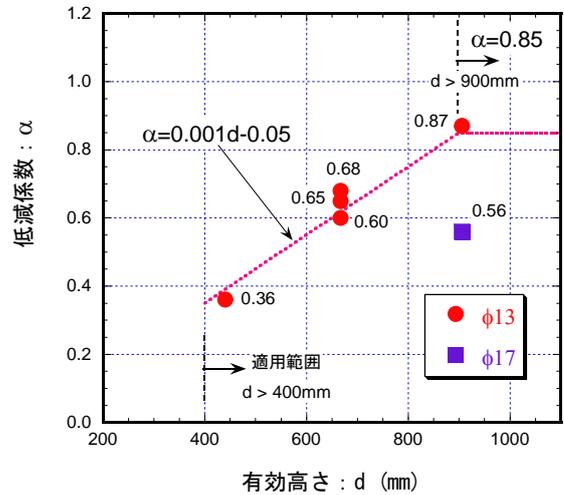


Fig.14 有効高さと低減係数との関係  
Reduction Factor - Section Depth Relationship

の実験値は比例関係がある。しかしながら、PC鋼棒の降伏強度を仮定した計算値<sup>5)</sup>のような勾配ではない。コンクリートのせん断負担分 ( $V_c$ ) は、あと施工でせん断補強筋を挿入しても変化しないと考えるとマルチプルナットバーのせん断寄与が変化することになる。

PC鋼棒の降伏を仮定したマルチプルナットバーのせん断負担 ( $V_s$ ) を用いて実際のせん断寄与を表すには、これがFig.13からせん断補強筋比、すなわち  $V_s$  の一次式 ( $\alpha \times V_s$ ,  $\alpha$ : 低減係数) で表せる相関性を利用する。この低減係数を次式で求めて、Table 5に示した。

$$\alpha = \frac{V_u^{exp} - V_c^{cal}}{V_s^{cal}} \quad (1)$$

ここに、

$V_u^{exp}$  : せん断耐力の実験値

$V_c^{cal}$  : コンクリートが負担するせん断力の計算値

$V_s^{cal}$  : PC鋼棒が負担するせん断力の計算値

( $\sigma_y=1080\text{N/mm}^2$ として計算)

この低減係数と断面の有効高さ (d) との関係を図.14 に示す。有効高さとともに低減係数が大きくなるのが分かる。実験した断面高さ以上で、さらに低減係数が大きくなる可能性があるが、ここでは一定として考え、この低減係数を直線で近似すると、以下の (2) 式、および (3) 式で表すことができる。

$$\alpha = 0.001 \cdot d - 0.05 \quad (400\text{mm} \leq d \leq 900\text{mm}) \quad (2)$$

$$\alpha = 0.85 \quad (900\text{mm} < d) \quad (3)$$

これを用いて、マルチプルナットバーをあと施工せん断補強に用いた場合のせん断耐力 ( $V_u$ ) を (4) 式で評価する。

$$V_u = V_c^{cal} + \alpha \cdot V_s^{cal} \quad (4)$$

(4)式を用いてマルチプルナットバーのせん断負担を求め、コンクリート寄与分を土木学会コンクリート標準示方書<sup>5)</sup>に基づき、部分安全係数をすべて1.0としてせん断耐力を計算した。これと実験値とを比較したものが Fig.15 である。φ17の場合を除いて、計算値はあと施工せん断補強筋としてマルチプルナットバーを用いた場合のせん断耐力を精度良く評価できることがわかった。ただし、 $V_s^{cal}$ 算定に用いるせん断補強筋の降伏強度にはPC鋼棒の0.2%耐力の規格値を用いた。その理由は、実験においてPC鋼棒降伏の有無が混在していたためである。この点における是非に関しては、今後の課題としたい。

#### 4. まとめ

地下構造物における壁などの面外せん断に対する補強を目的に、複数個の機械式定着具をPC鋼棒両端部に取り付けたマルチプルナットバーをせん断補強筋としてあと施工する場合のせん断補強効果を確認するために、機械式定着の特性とせん断耐力を実験で確認した。

その結果、以下のことがわかった。

- 1) 拘束が期待できるコンクリートブロック中では、支圧面積が2.5でもPC鋼棒降伏強度まで抜け出さない。
- 2) 複数個の機械式定着具を直列した場合、機械式定着の間隔は75mm以下にすると良い。下限値は今後の課題である。
- 3) マルチプルナットバーをせん断補強筋としてあと施工した場合、せん断耐力はマルチプルナットバーの量が増えるほど大きくなるが、マルチプルナットバー母材であるPC鋼棒の塑性化を仮定した設計値には達しない。
- 4) φ13のマルチプルナットバーで補強された部材のせん断耐力は、有効高さの一次関数で表す低減係数をマルチプルナットバーのせん断負担に乗じた値とコンクリートのせん断負担の和で評価できる。

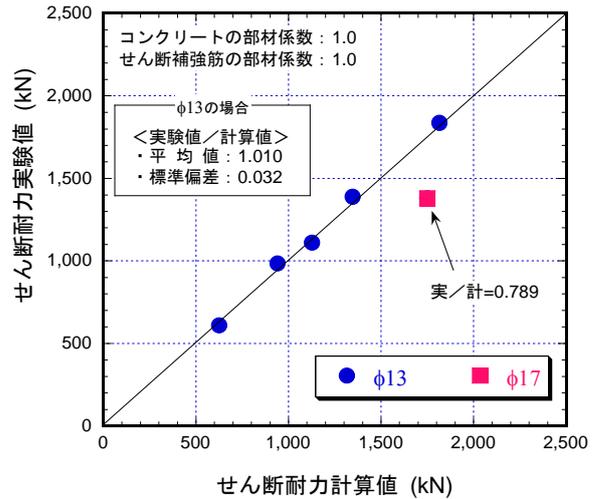


Fig.15 せん断耐力の実験値と計算値  
Comparison between Experimental and Calculated Shear Strength

- 5) φ17のマルチプルナットバーに用いた定着体は拘束が期待できるコンクリートブロック中では良好な性状を示したものの、せん断補強効果は悪い。φ13との違いは総支圧面積だけなので、施工速度をさらに高めるには総支圧面積に着目した改良が必要である。

#### 参考文献

- 1) 曾良岡宏ほか：地中ボックスカルバートの変形性能に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.23, No.3, pp.1123-1128, 2001.7
- 2) 山村賢輔，清宮理：開削トンネル擁壁部のせん断力に対する鉄筋差込による耐震補強効果，土木学会論文集，No.777/VI-65, pp.47-60, 2004.12
- 3) 前川宏一ほか：せん断補強筋の定着不良がRCはりのせん断耐力に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, No.2, pp.973-978, 2004.7
- 4) 小林薫，石橋忠良：RC柱の一面から施工する耐震補強工法の後挿入鉄筋の補強効果に関する実験的研究，土木学会論文集，No.683/V-52, pp.91-102, 2001.8
- 5) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.132-135, 2008.3
- 6) 今井昌文ほか：中空PC鋼棒を用いたプレテンション方式の定着に関する研究，土木学会論文集，No.679/VI-51, pp.81-92, 2001.6
- 7) 土木学会：鉄筋定着・継手指針[2007年版]，p.11, 2007.8
- 8) 村上雅英ほか：引き抜き試験によるはり主筋の機械式定着耐力の評価，コンクリート工学論文集，第8巻，第2号，pp.1-10, 1997.7
- 9) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，p.139, 2008.3