

論文 アンカーボルトの埋込長とせん断耐荷力の関係について

森北 一光^{*1}・皆川 聡一^{*2}・石崎 茂^{*3}・福富 眞^{*4}

要旨: 支承や耐震補強構造に用いられるアンカーボルトにおいて、コンクリート内への埋込長が径の 10 倍に満たないアンカーボルトに対し、埋込長と水平せん断耐荷力の関係および水平せん断に対する破壊性状を調べるため、埋込長を変えた実物大の試験体による水平せん断試験を実施した。その結果、埋込長がアンカーボルト径の 2 倍以下の場合と、3 倍以上の場合で破壊性状が異なることを確認した。そして、埋込長が径の 3 倍以上のアンカーボルトに対し、埋込長とせん断耐荷力の関係について検討を加え、埋込長がアンカー径の 10 倍に満たないアンカーボルトに対する設計せん断耐荷力式を提案した。

キーワード: アンカーボルト, せん断耐荷力, 埋込長

1. はじめに

アンカーボルトの埋込長は、道路橋示方書、共通編¹⁾において直径の 10 倍以上を確保するものと規定されており、新設橋梁では、通常、10 倍以上の埋込長が確保されている。しかしながら、既設橋梁における支承取替や耐震補強に際しては、下部工の配筋状況や施工上の制約から、構造的に 10D (D: アンカーボルト径) を確保できない場合も想定される。また、既設支承のアンカーボルトにおいて超音波探傷試験により埋め込み深さを測定した場合、埋込長が 10D に満たないことが判明する場合も考えられる。

上記において、構造的に浮き上がり防止対策を考慮する必要がない場合や、別途、浮き上がり防止構造を設けるため支承や移動制限装置のアンカーボルトにはせん断強度のみを期待する場合が考えられる。また、道路橋支承便覧²⁾では、引き抜きを伴わない場合のアンカーボルトの埋込長を 5D 程度に短くしても水平力に対して問題ないとの記述があり、埋込長が 10D に満たないアンカーボルトの埋込長とせん断耐荷力との関係を明らかにしておくことは、既設橋の支承取替や耐震補強において有用と考えられる。

一方、アンカーボルトのせん断耐荷力に関する研究事例は少なく、多久和ら³⁾によるアンカーボルトのせん断耐荷力に関する研究が認められる程度である。しかし、多久和らの研究は埋込長が 5D~15D のものに対する 2 面せん断試験による検討であり、埋込長が 5D に満たないアンカーボルトの一面せん断に対する耐荷力の検討事例は皆無と言える。

そこで、埋込長が径の 10 倍に満たないアンカーボルトに対し、埋込長とせん断耐荷力との関係を調べるため、埋込長を変えた実物大の試験体によるせん断耐荷力試

験を実施し検討を加えた。

本論文は、上記の試験結果に基づいて、アンカーボルトの埋込長とせん断耐荷力との関係について考察した結果について報告するものである。

2. 試験方法

2.1 供試体

図-1 に示すようにベースコンクリートに埋込み長 1D~5D と 10D のアンカーボルト (φ28mm) を各 3 本設置した供試体を作製し、試験を行った。また、アンカーボルトは、実橋において施工されている場合と同様にスパイラルシース管 (コンクリート硬化後撤去) にて箱抜

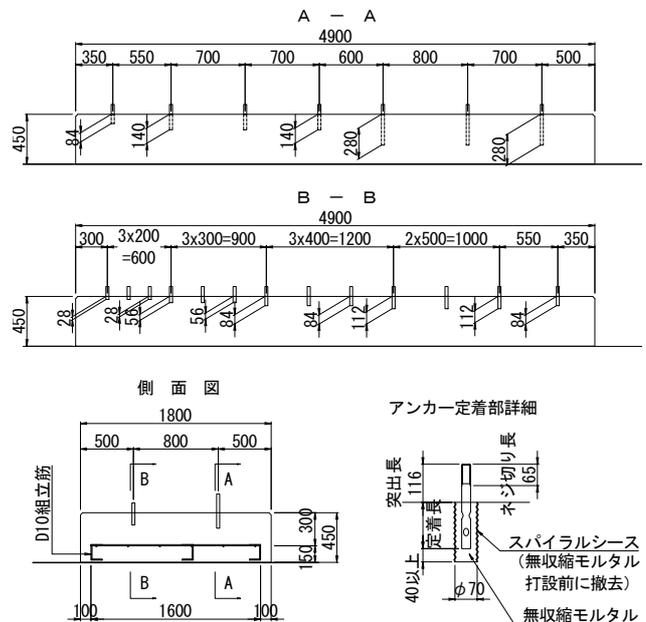


図-1 供試体図

*1 中日本高速道路 (株) 八王子支社 八王子保全・サービスセンター (正会員)

*2 中日本高速道路 (株) 八王子支社 八王子保全・サービスセンター 改良担当課長

*3 (株) 富士技建 技術部 博 (工) (正会員)

*4 (株) 富士技建 東京支店 支店長

きした後、無収縮モルタルにより定着した。なお、試験に使用したアンカーボルトは JIS のみがき鋼棒として入手したものであり、材質は SS400 であるが加工硬化により降伏点が高いものとなっている。また、実験に用いたアンカーボルトには、実橋で使用されているものと同様、深さ 5mm で R15 の押し型プレス加工を 50mm ピッチで施したものを使用した。

ベースコンクリートの圧縮強度は、目標として既設橋脚コンクリートの実強度に近い $30\text{N}/\text{mm}^2$ とし、試験期間を短縮（養生期間の短縮）するために早強普通ポルトランドセメントを使用した。また、アンカーボルトの固定には、プレミックスタイプの無収縮モルタルを使用した。ただし、目標圧縮強度はベースコンクリートの強度と同様に $30\text{N}/\text{mm}^2$ とした。表-1 に供試体構成材料の材料試験結果を示す。

2.2 試験装置

試験装置は、図-2 に示すように、50mm 厚の鋼製の荷重ブロック（幅 300mm、長さ 300mm）にセンターホールジャッキにより引張加力を作用させ、アンカーボルトに水平せん断力を作用させる構造とし、荷重試験を実施した。荷重は、ロードセルにより計測し、荷重ブロッ

ク前面とアンカーボルト頂部に変位計を設置し水平変位を測定した。なお、水平力作用位置の偏心による荷重ブロックの浮き上がりを防止するため、荷重ブロック後部には、押さえ金具を設置した。

2.3 荷重荷重

荷重の荷重は手押しポンプによる油圧ジャッキにより行ったため、一定速度での連続的な漸増荷重が困難なため、埋め込み長 1D の試験に対して 1kN ごと、2D の試験には 2kN ごと、3D 以上については 5kN ごとにステップアップさせていく漸増荷重方法で荷重した。荷重ステップの時間間隔は、特に定めず変位測定が終わり次第、次のステップ移るものとした。写真-1 に荷重試験の実施状況を示す。

3. 試験結果と考察

3.1 試験結果

表-2 にアンカーボルトの埋込長毎のせん断耐荷力の試験結果を示す。

また、図-3 は埋込長のアンカー径に対する比を横軸にとり、埋込長とせん断耐荷力の関係をプロットしたものである。

表-1 供試体構成材料の材料試験結果

	ベースコンクリート	無収縮モルタル	アンカーボルト	備考
圧縮強度 (N/mm ²)	31	23.8	—	6体の平均値
引張強度 (N/mm ²)	—	—	539	3体の平均値

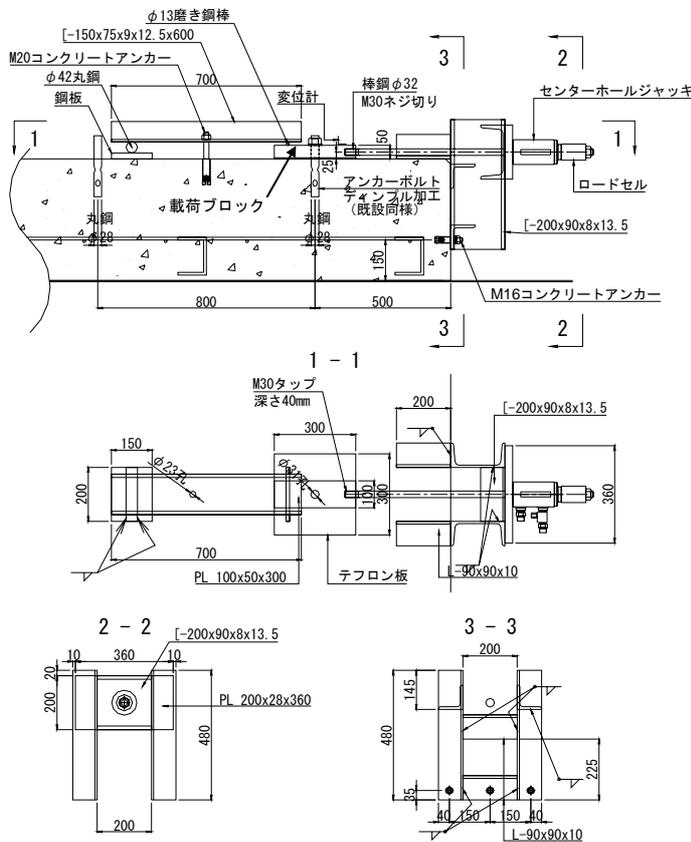


図-2 試験装置



写真-1 荷重試験の実施状況

表-2 セン断耐荷力の試験結果

アンカー埋込長	No.	最大荷重 (kN)	変位 (mm)	アンカー埋込長	No.	最大荷重 (kN)	変位 (mm)
1D	①	44.1	3.595	4D	①	150.0	9.335
	②	41.8	4.950		②	146.3	8.925
	③	19.8	3.675		③	124.2	8.905
	平均	35.2	4.073		平均	140.2	9.055
2D	①	71.3	7.650	5D	①	149.9	9.345
	②	58.5	4.825		②	159.4	11.480
	③	61.7	8.890		③	151.4	10.855
	平均	63.8	7.122		平均	153.6	10.560
3D	①	122.9	8.440	10D	①	173.3	12.665
	②	137.6	8.070		②	176.4	13.815
	③	125.3	10.885		③	182.1	13.400
	平均	128.6	9.132		平均	177.3	13.293

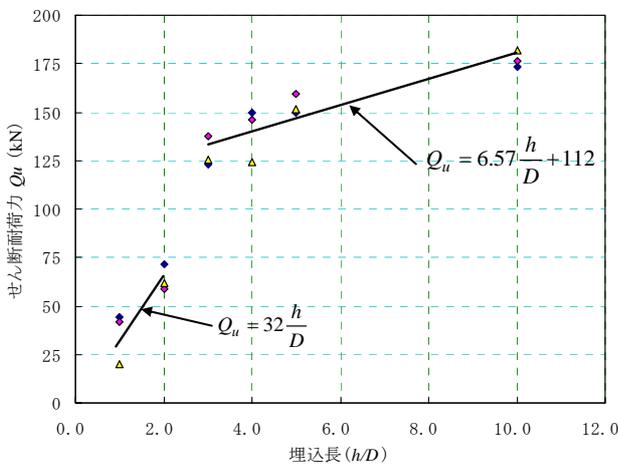


図-3 埋込長とせん断耐荷力の関係

表-3 最大荷重と最小荷重のバラツキ

埋込長	バラツキ (%)
1D	55.10
2D	18.00
3D	12.00
4D	17.20
5D	5.70
10D	4.80

表-2 の試験結果より最大耐荷力のバラツキを調べるため、埋込長毎にせん断耐荷力の試験結果の最大値と最小値の差と最大値との比を求めれば表-3 のとおりとなる。この表より、埋込長が 1D のもの、および 2D のものは 55%~18% とバラツキが大きいたことが分かる。これに比べ、3D~10D の埋込長では、4D のもので多少バラツキが大きくなっているものの、概ね 10% 程度以内となっており、1D、2D に比べバラツキが小さくなる傾向が認められる。

一方、図-3 に示した埋込長とせん断耐荷力の関係において、平均値を結ぶ直線の傾きは、1D~2D の場合と

3D~10D の場合で傾向が大きく異なり、3D~10D では、せん断耐荷力の増加が緩和する傾向となった。これは、埋込長 1D、2D と 3D~10D で、破壊性状が異なることによるものと考えられる。

3.2 荷重-水平変位関係

アンカーボルトの埋込長毎の荷重と水平変位との関係を図-4-(1) から図-4-(6) に示すとともに、以下に、その特徴について列挙する。

(1) 埋込長 1D

荷重が 1~10kN 程度までは荷重と水平変位が線形関係を示すが、荷重 10kN で強度低下するものもあり、強度のバラツキが大きい。これは、アンカー定着時のモルタルの充填状態や埋め込み部の骨材の配置状態に差異が生じるためと考えられる。

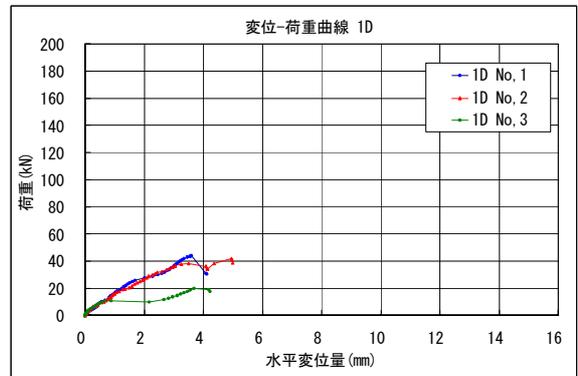


図-4-(1) 荷重-水平変位関係【1D】

(2) 埋込長 2D

最終耐荷力のバラツキは 1D に比べ小さくなるが、荷重変位関係が線形的な性状を示す範囲は、25kN から 55kN とバラツキが大きくなる。これは、埋込長が小さいため、1D の場合と同様、モルタルの充填状態や埋め込み部における骨材の配置状態の影響を大きく受けるためと推定される。

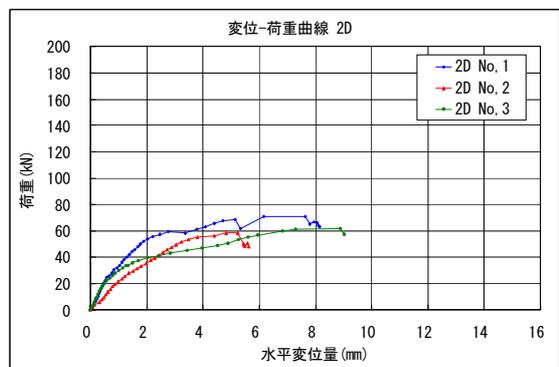


図-4-(2) 荷重-水平変位関係【2D】

(3) 埋込長 3D

荷重変位関係が線形的な性状を示す範囲は、70kN から 90kN とバラツキは比較的小さいが、曲線の傾きにはバラツキがある。これは、ディンプル加工部の位置と水平加力作用位置との関係によりアンカーボルトの曲げ降伏部の剛性が試験体により異なるためと推定される。しかし、最終耐荷力は 120kN～140kN とバラツキは少なく 1D、2D と比べ耐荷力が急増することが分かった。

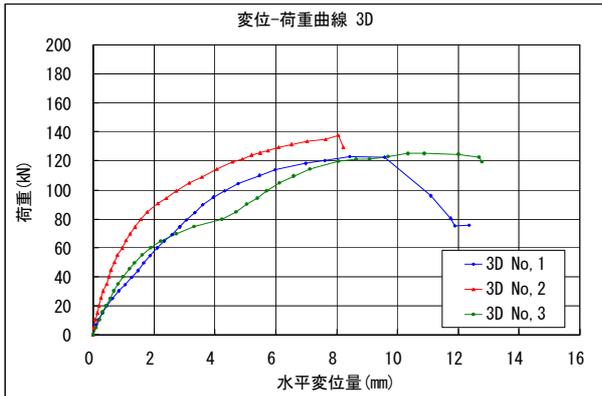


図-4- (3) 荷重-水平変位関係【3D】

(4) 埋込長 4D

荷重変位関係が線形的な性状を示す範囲は、ほぼ 120kN でバラツキは小さいが、3D の場合と同様、ディンプル加工部の影響と考えられる曲線の傾きにはバラツキがある。しかしながら、アンカーボルト降伏後の変形状は 3D の場合と異なりアンカーボルト降伏後の荷重増加がほとんど無く変位が急速に増大し破壊に至る性状となった。

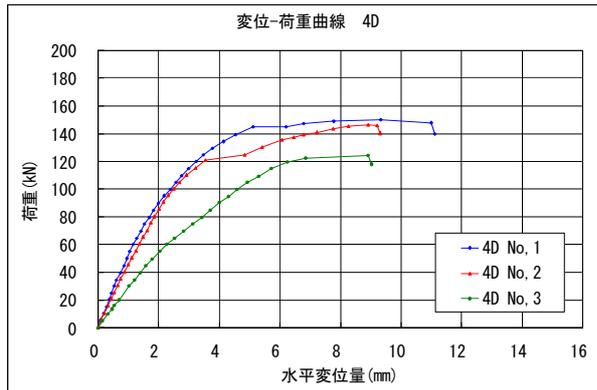


図-4- (4) 荷重-水平変位関係【4D】

(5) 埋込長 5D

荷重変位関係が線形的な性状を示す範囲は、120kN でバラツキが小さく、曲線の傾きもほぼ一定であった。アンカーボルト降伏後は変位が急速に増大するが、若干の荷重増加が認められる。これは、埋込長が 5D 程度となれば、アンカーボルトの引き抜き抵抗がせん断耐荷力に寄与するためと考えられる。

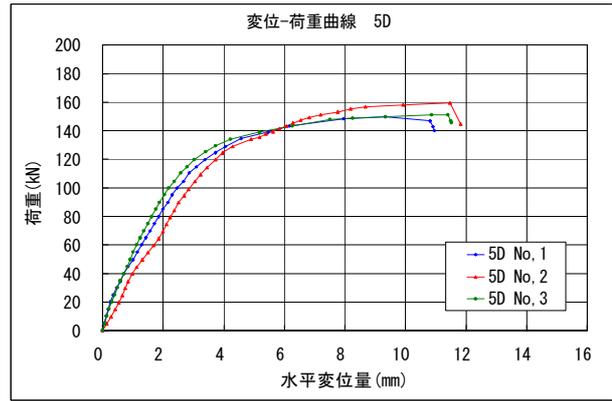


図-4- (5) 荷重-水平変位関係【5D】

(6) 埋込長 10D

荷重変位関係が線形的な性状を示す範囲の変形曲線は、5D とほぼ同じであり、アンカーボルトの曲げ降伏荷重は 5D とほぼ等しい。しかし、アンカーボルト降伏後の荷重増加が 5D に比べ大きくなっている。これは、アンカーボルトの降伏変形後の引き抜き抵抗が 5D のものよりさらに増大するためと考えられる。

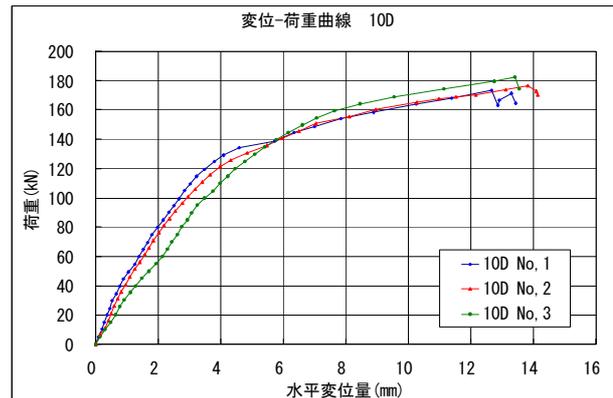


図-4- (6) 荷重-水平変位関係【10D】

3.3 最終破壊状況

最終破壊時におけるベースコンクリートの剥離破壊の状況、およびアンカーボルトの破壊時における変形状況を写真-2 に示す。

写真より埋込長 1D, および 2D のベースコンクリートの破壊は、アンカーボルト前面の剥離破壊と後面のコーンせん断破壊が同時発生的に生じたもので、破壊後に取り出したアンカーボルトには残留変形がみられなかった。しかしながら、3D 以上ものは、アンカーボルト前面にのみベースコンクリートの剥離破壊が生じ、破壊後のアンカーボルトには図-5 に示すような曲げ降伏による残留変形が見られた。アンカーボルトの曲げ変形の状況から、降伏は、せん断荷重載荷ブロックとアンカーボルトの接点における加力により生じた曲げによるものと考えられる。

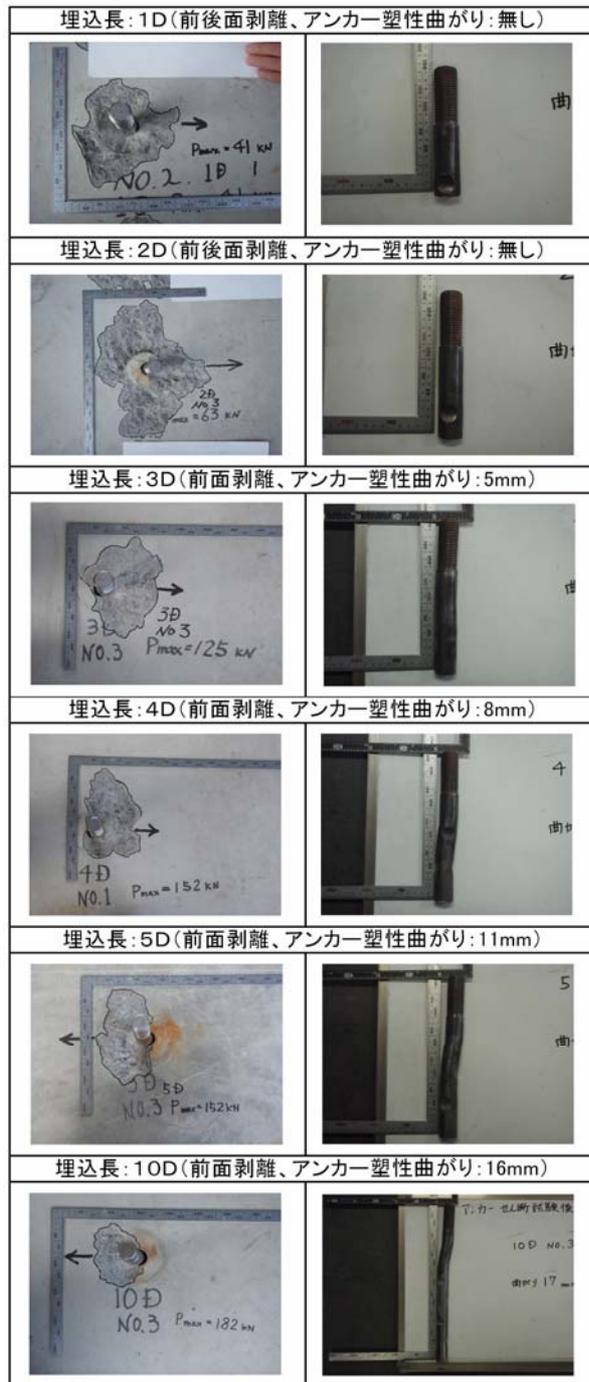


写真-2 コンクリートの破壊性状及びアンカーボルトの変形状

これらの破壊性状から、埋込長が 3D 以上のアンカーボルトは、前面コンクリートの剥離破壊が先行して生じ、その後、水平変位の増加に伴ってアンカーボルトが曲げ降伏に達し前面コンクリートの剥離破壊が進行するとともにせん断耐荷力を徐々に喪失して行き、破壊に至る破壊性状となることが分かった。

3.4 考察

今回の実験結果より、埋込長が 2D 以下のアンカーボルトにせん断耐荷力を期待することは、その破壊性状、

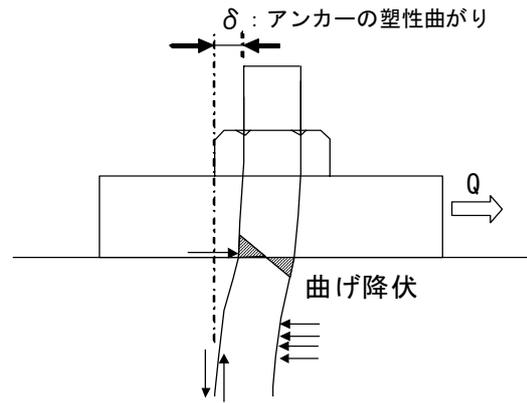


図-5 アンカーボルトの変形状

およびせん断耐荷力のバラツキが大きいこと等から無理があるといえる。しかしながら、埋込長が 3D 以上のアンカーボルトは、いずれも、アンカーボルト降伏後も脆性的に破壊せず荷重を保持し続け、安定した耐荷性能を示した。このため、埋込長が 3D 以上であれば、10D に満たないアンカーボルトにおいても、水平せん断に対する耐荷力を期待して良いといえる。

4. 埋込長が 10D に満たないアンカーボルトのせん断耐荷力評価式

4.1 アンカーボルトせん断抵抗強度

前記 2. 及び 3. に示した今回のせん断試験結果より、埋込長が径の 10 倍に満たないアンカーボルトのせん断耐荷力評価式を得るためのパラメータについて種々検討した結果、①コンクリート中に埋込まれたアンカーボルトのせん断耐荷力はアンカーボルトの降伏点により決定されるのではなく降伏後のアンカーボルトの変形状態とコンクリート強度とにより決定されること、②頭付きスタッドの一面せん断に対する埋込み鋼材の破壊性状が今回の試験結果と類似していること等から、既存の頭付きスタッドのせん断耐荷力評価式⁴⁾に用いられているパラメータ

$$A_s \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot f_c'$$

をここでも採用することにした。ここに、 h : アンカーボルトの埋込長 (mm)、 D : アンカーボルト径 (mm)、 A_s : アンカーボルトの断面積 (mm^2)、 f_c' : ベースコンクリートの圧縮強度 (MPa) である。

アンカーボルトの埋込長と径の比 (h/D) を含む上記パラメータを横軸に取り、今回のせん断試験結果をプロットしたのが図-6 である。なお、本評価に用いるコンクリート強度には、実施工では無収縮モルタルの強度がベースコンクリートより高い場合が多いと考えられるが、安全側を考慮してベースコンクリートの強度を使用することとした。

図-6 より埋込長が 3D から 10D のアンカーボルトの

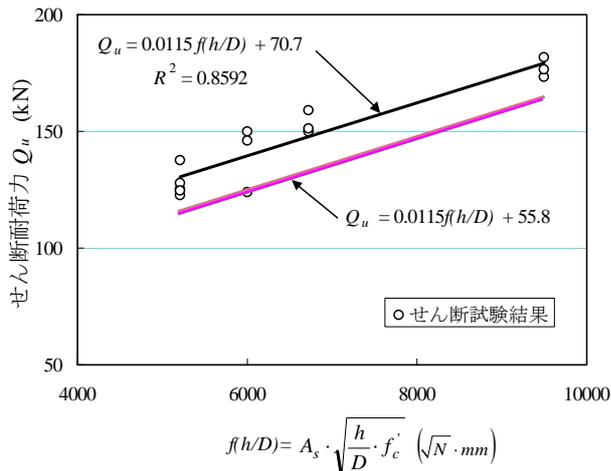


図-6 埋込長が10Dに満たないアンカーボルトのせん断抵抗強度

せん断耐荷力は、上記のパラメータを横軸に採れば、ほぼ直線関係を示すことが分かる。そこで、最小自乗法により3D~10Dの埋込長に対するせん断耐荷力式を求めれば、式(1)が得られる。

$$Q_u = 0.0115 \cdot A_s \cdot \sqrt{\frac{h}{D} \cdot f'_c} + 70.7 \quad (1)$$

ここに、 Q_u : アンカーボルトのせん断耐荷力 (kN)

本アンカーボルトのせん断耐荷力回帰式の相関係数は、 $R=0.9269$ と比較的高い相関を示し、本回帰式で埋込長3D~10Dのアンカーボルトのせん断耐荷力のある程度良好な精度で評価できると言える。

4.2 設計せん断耐荷力評価式の提案

埋込長が10Dに満たないアンカーボルトの設計耐荷力式を得るために、式(1)を基本式として実験値の統計量より5%非超過確率(2σ)を基準に評価式を修正すれば次式が得られる。

$$Q_u = 0.0115 \cdot A_s \cdot \sqrt{\frac{h}{D} \cdot f'_c} + 55.8 \quad (2)$$

以上より、式(2)を埋込長がアンカー径の10倍に満たないアンカーボルトの設計せん断耐荷力式として提案する。

なお、今回の実験におけるコンクリート強度は1水準のみであり、本評価式は、強度が 30N/mm^2 程度のベースコンクリートに埋込まれたアンカーボルトに適用できる。また、本設計耐荷力式は、ベースコンクリートの縁端距離が十分確保されている場合の評価式であり、縁端距離が小さい場合は縁端部コンクリートのコーンせん断破壊モードとなり、本試験結果と破壊性状が異なるた

め、別途検討が必要である。また、本試験結果はアンカー径が28mmのアンカーボルトに対するものであり、アンカー径が異なればせん断耐荷力も若干変化すると考えられるため、今後は、ベースコンクリートの強度やアンカー径を変えた実験によりデータを蓄積し評価式の修正が必要と思われる。

5. まとめ

埋込長がアンカー径の10倍以下のアンカーボルトに対し、埋込長が異なるアンカーボルトのせん断試験を実施し、埋込長とせん断耐荷力との関係について検討を加えた。その結果、以下の事項が明らかとなった。

- (1) 埋込長が1D、2Dのアンカーボルトと3D以上のアンカーボルトでは、水平せん断に対する破壊性状が異なる。
- (2) 埋込長が1D、2Dのアンカーボルトの水平せん断力による破壊性状は、前面コンクリートの剥離破壊、および後面コンクリートのコーンせん断破壊であり、破壊荷重のバラツキが大きい。
- (3) 埋込長が3D以上のアンカーボルトの水平せん断に対する破壊性状は前面コンクリートの剥離破壊およびアンカーボルトの曲げ降伏による破壊性状を呈し、破壊荷重のバラツキが小さい。
- (4) 埋込長が3D以上のアンカーボルトの設計せん断耐荷力は、スタッドのせん断耐荷力式を参考に h/D を含む項をパラメータとして整理した式(1)を5%非超過確率により修正した式(2)により評価できる。

謝辞

本アンカーボルトのせん断耐荷力試験は、中央自動車道石川高架橋支承アンカーボルトに関する検討委員会(委員長:池田 尚治 横浜国立大学名誉教授)の一環として実施したものであり、ご指導いただいた本委員会の委員および関係各位に対しここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, I 共通編, pp.92-93, 2002.3
- 2) 日本道路協会:道路橋支承便覧, pp.179-180, 2004.4
- 3) 多久和 勇, 石田 博, 安松敏雄:アンカーバーの耐荷力に関する載荷試験, 日本道路公団試験所報告, Vol.26, pp.135-152, 1989
- 4) 平城弘一, 松井繁之, 佐藤 崇, Abubaker Al-Sakkaf, 石崎 茂, 石原靖弘:縁端距離を考慮した頭付きスタッドの引抜きおよびせん断強度評価式, 土木学会論文集 No.703/I -59, pp.279-291, 2002.4