

6. 施工誤差が補強材の力学的性質に及ぼす影響

高梨成次, 大幢勝利

Influence of Construction Error on The Mechanical Properties of Tie

by Seiji Takanashi and Katsutoshi Ohdo

Abstract; Accidents due to scaffolding collapse following exposure to strong winds do occur. In general, the scaffolding is a large-scale structure, tens of meters high and wide. When such scaffolding collapses, many workers will be exposed to the disaster at the same time. Generally speaking, the scaffolding also lacks horizontal stability, and its stability is retained through ties connecting it with the building. The performance demanded of the tie is decided by the structural standard while its strength requirement is 8.82kN or more. Because the safety rate is twofold or more in the design studied, the allowable strength is 4.41kN. However, there are numerous poorly-constructed ties throughout the construction site. Tests used to examine the performance of the tie with construction error were performed, with four main parameters. 1) Angle of the tie. 2) Distance between fulcrums. 3) Depth of the anchor bolt for fixation. 4) Torque of clamping. The results were as follows. Although the effects of distance between the fulcrums of the tie on the compression strength were small, the influence which the angle of tie exerted on the compression strength was considerable and compression strength was found to decrease in proportion to the angle of the tie within five degrees. When five degrees was exceeded, compression strength remained a constant value, regardless of the tie angle. As for the tension strength, the influence caused by the distance between fulcrums was comparatively large. The compression strength was smaller than the tension strength, regardless of the distance between the fulcrums and the angle of the tie. The rigidity of the tie was also found to be greatly influenced by its angle. When ties of very different rigidity co-exist in a scaffold, there is a high possibility of the load concentrating on a specific tie, and if this phenomenon occurs continuously, there is considerable potential for a form of progressive collapse. The ties of very different angles must be avoided; a construction error which is easy to spot. Accordingly, such ties must be reset appropriately or otherwise increased. Strength and stiffness decrease remarkably when construction errors in the anchor bolt are found, meaning the tie becomes unable to demonstrate effective performance. It is difficult to pinpoint this construction error following construction of the tie, meaning the worker must be instructed as to the correct fixation method. Although the influence which the clamp torque exerted on the strength of tie was small, there remained the possibility of the bolt coming off during usual work or daily wind if the torque was too weak. Conversely, the life of the tie used repeatedly shortens if the torque is too strong.

Keywords; Tie, Wind force, Construction error, Progressive collapse

1. はじめに

仮設構造物である足場が、強風等によって倒壊する災害が後を絶たない。多くの足場は高さ、幅ともに数十メートルにおよぶ大型構造物である。このような足場の倒壊災害が発生すると、一度に多数の労働者に災害がおよぶ危険性が高い。また、工事関係者以外にも被害が及ぶこともある。

一般的に足場は、水平方向に対する安定性が乏しい構造物である。そのため、足場に比べ十分に剛強な建築物と補強材で連結することによって水平方向に対する安定性を確保している。つまり、足場の水平方向に対する主たる剛性、耐力を負担しているのは補強材であると考えられる。補強材に要求される性能に関しては、構造規格で定められている。しかしながら、施工精度が悪いものを多く見かける。そのような施工状況にある補強材が、十分にその性能を発揮できるのか否かを検討する等、補強材の力学特性を実験的に検討した。

2. 補強材の概要

実験で用いた補強材は、専用の壁つなぎ用金具とした。最も一般的な足場である枠組足場に用いられる壁つなぎ用金具の強度は、構造規格第46条によって、圧縮強度、引張強度ともに8.82kN以上の強度を有するものと定められている。本報では、以降この強度のことを必要耐力と称することにする。その許容耐力は仮設工業会の「風荷重に対する安全技術指針」¹⁾において、安全率2.0以上を確保するように定められており、許容耐力は、4.41kNとされている。また、主として風荷重を負担する部材の検討に際しては、「許容耐力を30%割り増した値とすることができる」と、されているため、ここで検討している壁つなぎ用金具の許容耐力は5.73kNであると考えられることとする。

補強材の設置方法は、足場の建わくと建築物との距離に補強材の長さを調整し、建築物に設置されたアンカー等に補強材の一端を固定し、クランプで建わくと連結するという方法が一般的である。

3. 実験概要

補強材を含めて、足場等の仮設構造物は一般に使用期間が短く、解体することが前提であるため、施工精度が軽視される傾向にある。そこで、施工精度を変動因子とした実験を実施し、補強材の力学的特性を明らかにした。

実験で使用した壁つなぎ用金具は、比較的使用頻度が高いPhoto1に示したメーカーの異なる2種類を選

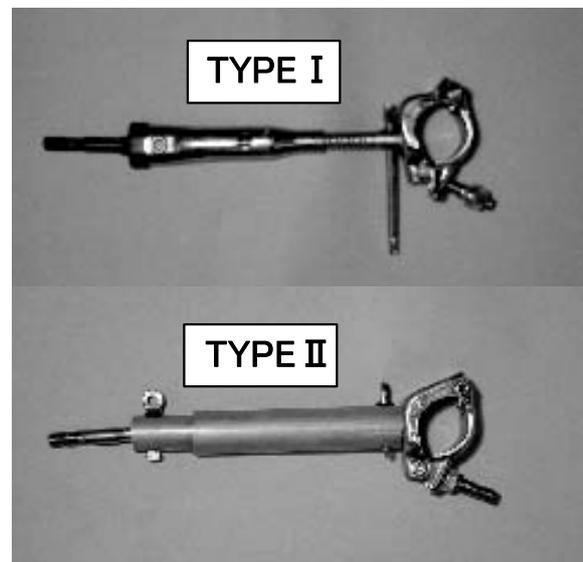


Photo1 Tie

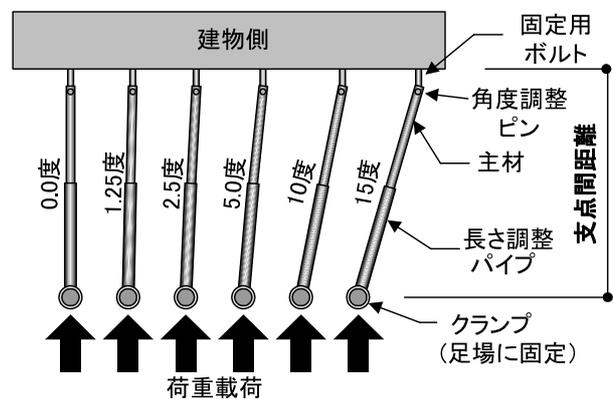


Fig. 1 Parameters of the Test

定した。実験の変動因子はFig.1に示したように、1) 補強材の設置角度、2) 支点間距離、3) 補強材を建築物に固定するための固定用ボルトの埋め込み深さ、4) 足場に固定するクランプ部分の締め付けトルクとした。

クランプ部の締め付けトルクは、特に明記しない限り35N・mとした。このトルク値は、構造規格第46条による補強材の強度を確認するための実験条件として定められた値である。

補強材の部材長は構造規格により1200mm以内とするよう定められているが、今回は支点間距離を比較的一般的な長さである300mm及び500mmとした。ただし、取り付け角度によらず支点間距離を同一としたため、補強材自体の長さは設置角度によって若干異なる。

設置角度はFig.1に示した6ケースとした。加力は建物に対して垂直に行ない、計測も建物に対して垂直方向の荷重及び変位量とした。

4. 補強材の設置角度が及ぼす影響

Fig.2に、補強材の圧縮耐力に対する設置角度と支点間距離の影響を示す。今回の実験範囲においては、補強材TYPE-I、TYPE-II共に、支点間距離が圧縮耐力に及ぼす影響は小さく、実験誤差の範囲内であったと言える。これに対し、設置角度による影響は大きかった。設置角度が5度以下の場合の低下率は、設置角度の平方根に反比例し、比例定数はTYPE-Iでは約5、TYPE-IIでは約2.5であった。設置角度が5度を超えると、耐力低下は設置角度によらず、ほぼ一定値を示した。このように設置角度の施工誤差が大きくなると、明確な耐力低下が確認されるが、今回実験を行った範囲においては、許容耐力及び必要耐力を十分に上回る結果となった。

Fig.3にTYPE-IIにおける補強材の引張耐力に対する設置角度と最大引張荷重の関係を支点間距離の影響を示す。設置角度が5度以下の場合には、支点間距離が引張耐力に及ぼす影響は大きく、支点間距離500mmの場合は、300mmの場合に比べ、約20%小さくなった。これに対し、設置角度が10度以上の場合には、支点間距離の影響は小さかった。

設置角度が引張耐力に及ぼす影響は小さく、5度以下の場合には、実験誤差の範囲内であると見なすことができる。設置角度の誤差が5度を超える場合であっても、支点間距離300mmの場合で約20%、500mmの場合で約10%の耐力低下にすぎなかった。引張耐力に関しても圧縮耐力と同様に、今回実験を行った範囲においては、いずれの場合も許容耐力及び必要耐力を十分に上回る結果となった。

圧縮耐力と引張耐力を比較すると、支点間距離、設置角度に関わらず、引張耐力は圧縮耐力を上回った。また、本報告書2「足場に作用する風加重の実測調査」より、強風時に補強材に発生する軸力は引張軸力よりも圧縮軸力の方が大きくなるため、これらの壁つなぎ用金具の安全性を検討するには、引張耐力よりも圧縮耐力の方が重要であると考えられる。

圧縮荷重を受けた補強材の最終破壊状況をPhoto2に示す。TYPE-I、II共に、建物側の固定用ボルトが、偏心荷重による曲げモーメントによって曲げ降伏し、耐力低下あるいは剛性低下を示した。その後、固定用ボルトの曲げ変形の進行に伴い、補強材の傾き角度が増加し、固定用ボルトに主材が接触した。さらに、固定用ボルトが主材を押し広げ、最終的に主材を切

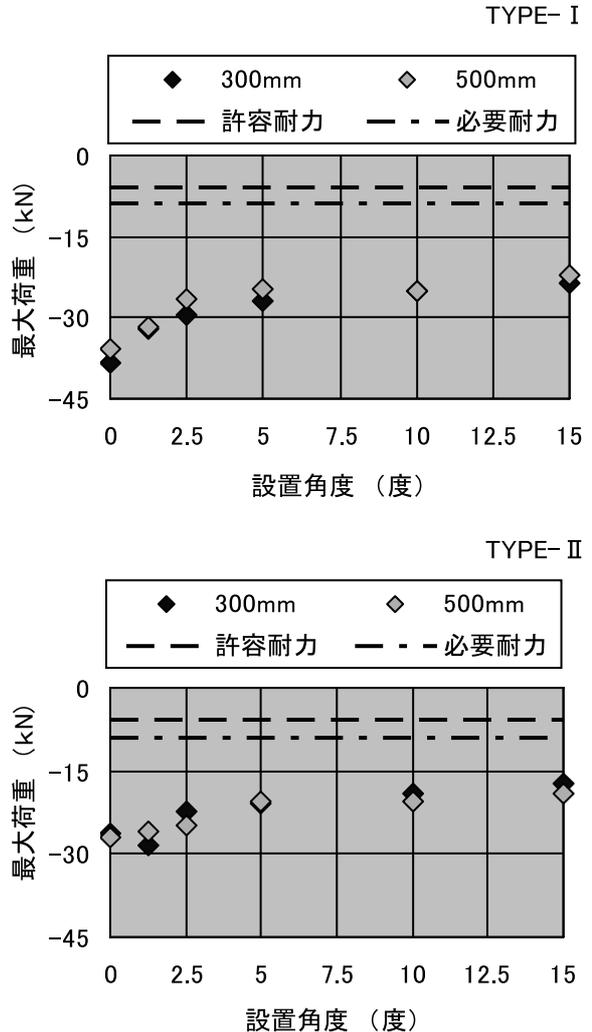


Fig.2 Effect of Length and Angle on The Compression Strength of Tie
支点間距離、設置角度が圧縮耐力に及ぼす影響

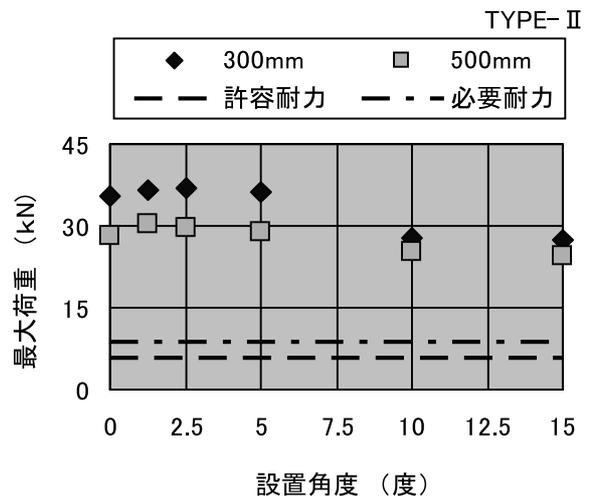


Fig.3 Effect of Length and Angle on The Tension Strength of Tie
支点間距離、設置角度が引張耐力に及ぼす影響

り裂いた。TYPE-IIで、設置角度を0度とした場合のみ、これとは異なった破壊形式を示し、角度調整ピンが、せん断力によって切断される脆性破壊となった。ただし、この破壊形式は、10回行った実験の内、5回だけであり残りの5回は、わずかな施工誤差に伴い、先に記した破壊形式となった。引張荷重を受ける補強材の最終破壊形式は、設置角度に関わらず角度調整ピンが、せん断力によって切断される脆性的な破壊形式であった。

圧縮実験時に得られた荷重と変位の関係をFig.4に示す。圧縮荷重を受けた場合、TYPE-Iは、設置角度が2.5度以下で高い耐力を示したが、変位量が2.5mm程度で顕著な耐力低下特性を示した。このように脆性的な耐力低下を示す部材が存在すると、足場全体としての安定性が低下する恐れがある。

これに対し、TYPE-IIでは、最大耐力こそ低いものの、急激な耐力低下がない安定した荷重-変位曲線を示した。設置角度が5.0度を超えると、TYPE-I, II共に緩やかな剛性低下を起こし、5mm程度の変位までは耐力低下は確認されなかった。また、耐力低下の挙動も非常に緩やかな延性破壊となった。TYPE-IIで設置角度が0度の場合のみ、先に記した通り、角度調整ピンが破断したため、それ以上の変位に対し全く荷重負担ができない極めて脆性的な破壊となったことが分かる。

変位量が3mm程度以下で、耐力低下又は剛性低下を起こした条件の補強材は、変位の進行に伴い、再び耐力又は、剛性が回復した。このような現象は、Fig.5に示すメカニズムによって、次のように説明することができる。小変形時には、軸力は主材から角度調整ピンを介して固定用ボルトに達する。大変形時には、主材の端部が固定用ボルトに接するため、主材端部から固定用ボルトに軸力が伝達される。このため、固定用ボルトの加力点が、大変形時には小変形時に比べ、固定用ボルトの固定端側に移動する。その結果、固定用ボルトの見かけ上の長さが短くなる。そのため、大変形時に小変形時と同じだけの曲げモーメントを固定用ボルトに発生させるためには、加力点が移動した分だけ大きな荷重を必要とする。その結果として、見かけ上の耐力や剛性の回復現象が見られた。

Fig.6に補強材の初期剛性に対する設置角度及び支点間距離の影響について、圧縮実験時に得られた結果を示す。ここでの初期剛性は、許容耐力である5.73 kN時の接線剛性で評価した。TYPE-IはTYPE-IIに比べ、著しく高い初期剛性を示した。その傾向は、設置角度が小さいほど顕著であった。

TYPE-Iは、設置角度が5度以下では支点間距離が初期剛性に及ぼす影響は大きいですが、5度を越える設置

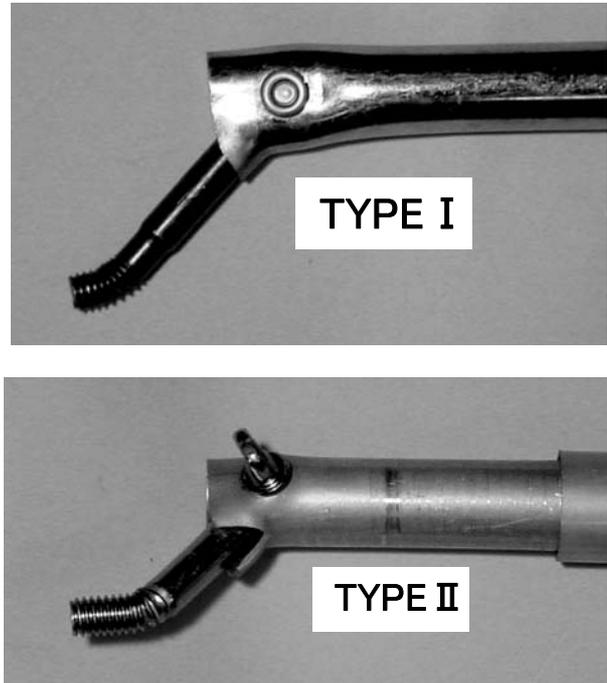


Photo2 Final Destruction Situation

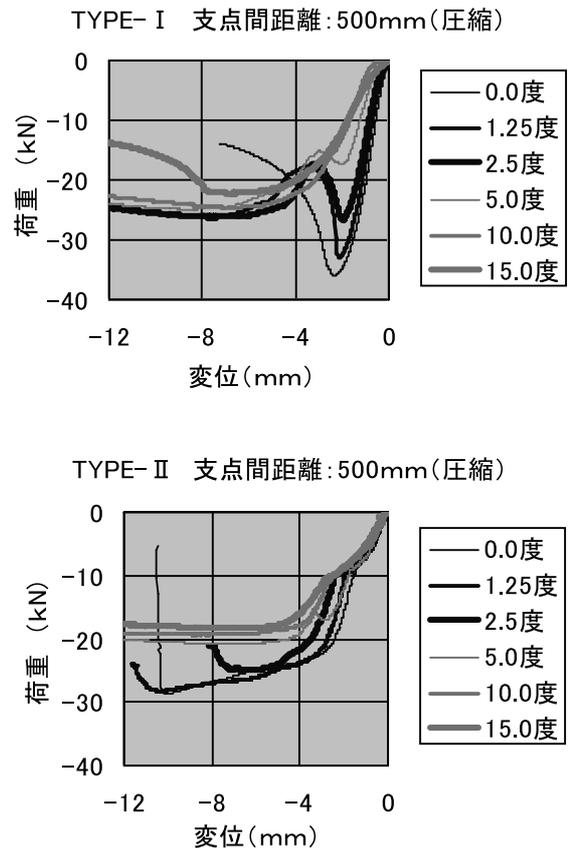


Fig.4 Load-Deformation Curve

角度では、ほとんど影響が無かった。

TYPE-IIでは、設置角度に関わらず、支点間距離が初期剛性に及ぼす影響はほとんど無かった。

設置角度が初期剛性に及ぼす影響は、TYPE-I、II共に顕著であり、設置角度が5度を越えると、0度の場合の約50%にまで低下した。このように、剛性が著しく異なる補強材が混在すると、剛性が高い補強材に応力が集中することが推測される。特にTYPE-Iで、設置角度が小さい場合、最大耐力を超える軸力が一旦入力されると、耐力が著しく低下し、小さな荷重しか負担できなくなる。このような状況になると、他の補強材が負担する荷重が増大することになる。このような現象が連続的に発生すれば、一種の進行性破壊の状態となり、著しく足場の安定性が低下し、倒壊する危険性が増すことになる。そのため、極端に設置角度が異なる補強材の設置は避けなければならない。この施工誤差は容易に見つけることができるため、そのような施工状況になってしまった場合には、新たにアンカーを設置し、適正な設置角度となるように再施工を行う、あるいはその周辺に補強材を密に配置する等の対策が必要である

5. 固定用ボルトの埋め込み深さが及ぼす影響

先に記したように、補強材の固定用ボルトの設置方法は、建物側に設置されたアンカーにねじ込んで固定することが一般的である。当然、補強材のねじ部分は十分にねじ込んでおくべきであるが、稀にねじ込みが不十分な補強材を見かけることがある。そこで、固定用ボルトの埋め込み深さが補強材の耐力に及ぼす影響を調べるため、補強材の圧縮実験を実施した。実験は、支点間距離が500mmにして行った。固定用ボルトの最大埋め込み深さ(正規の埋め込み深さ)は、TYPE-Iで20mm、TYPE-IIで25mmであった。それぞれについて、埋め込みが不十分な場合を想定し、埋め込み深さを5mm、10mm、15mmとした。

固定用ボルトの埋め込みが不十分な場合の破壊形式は、先に示した破壊形式とは異なり、Photo3に示す通り、固定用ボルトのねじ山の損傷が確認された。ねじ山の損傷は、埋め込みが浅いほど、また、設置角度が小さいほど顕著であった。

固定用ボルトの埋め込み深さが補強材の耐力に及ぼす影響をFig.7に示す。図中の凡例で埋め込み深さの後ろに*が付いているものは、剛性低下を起こす以前までの耐力を示している。TYPE-I、IIともに、全ての設置角度において、固定用ボルトの埋め込みが浅くなるにしたがい耐力は低下した。特に設置角度が小さい程、顕著であった。

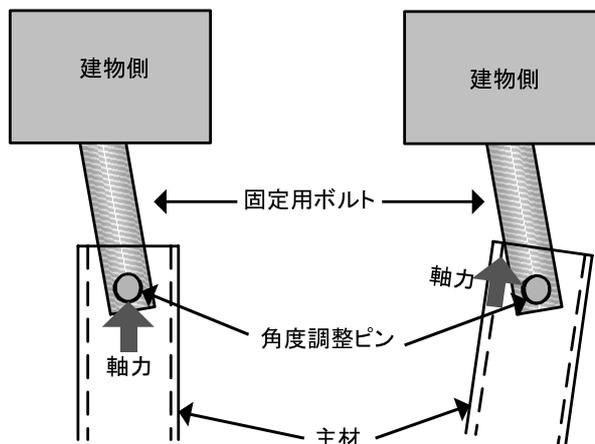


Fig.5 Mechanism of Strength Re-rise

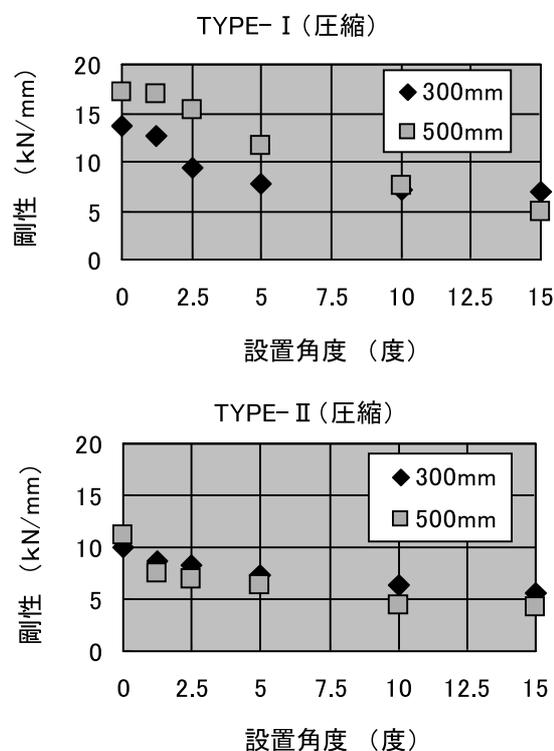


Fig.6 Effect of Length and Angle on the Stiffness of Tie

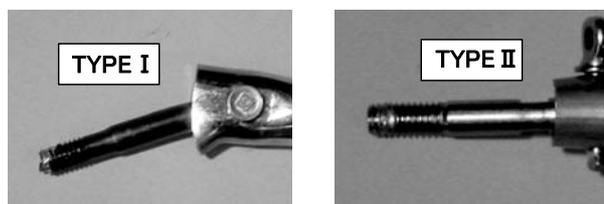


Photo3 Final Destruction Situations

TYPE-Iにおいては、埋め込み深さが15mmになると最大耐力は正規の埋め込み深さである25mmの場合に対し、約80%に低下した。また、その低下率は埋め込み深さが10mm、5mmの場合においても大差が無かった。剛性低下を起こす以前までの耐力では埋め込み深さが15mmの場合は約70%、10mmの場合は約50%、5mmの場合は約30%と著しい耐力低下を示した。

TYPE-IIにおいては、埋め込み深さが15mmになると最大耐力は正規の埋め込み深さの約70%に低下し、10mmの場合は約60%、5mmの場合は約50%に低下した。剛性低下を起こす以前までの耐力では、埋め込み深さが15mmの場合は約50%、10mmの場合は約50%、5mmの場合は約30%と著しい耐力低下を示した。

耐力に及ぼす影響は、設置角度が小さいほど、ねじ山の強度が支配的であったが、5度を超える設置角度に対しては、固定用ボルトの曲げ強度の影響が相対的に大きくなった。そのため、埋め込み量が不足した場合の剛性低下率は設置角度が小さいほど顕著であった。

また、設置角度が5度以下の場合には、Fig.8に示すように、比較的低荷重時に耐力低下が発生した。この傾向は、TYPE-Iで特に顕著であった。これらの実験結果より、埋め込み深さが不十分な場合には、壁つなぎ用金具が有する性能を十分に発揮できなくなることが分かる。実験を実施した全てのケースにおいて、設計用許容耐力以上の耐力を有していた。しかしながら、ねじの山が損傷を受けると、補強材の建物に対する固定度は失われるため、仮にこの状態で引張荷重を受けると、補強材は、脱落することになる。そのため、風荷重のように荷重方向が変動する外乱に対しては極めて危険な状況になる。そのような状況を防止するためには、施工状況を十分に管理することが大切である。

固定用ボルトの埋め込み深さが補強材の剛性に及ぼす影響をFig.9に示す。ここでの剛性は、先に示した評価と同様に、許容耐力である5.73kN時の接線剛性で評価した。耐力と同様に、ボルトの埋め込みが浅くなるに従い剛性は低下した。剛性に対する影響はTYPE-IIにおいては小さいが、TYPE-Iでは顕著であった。特に埋め込み深さが5mmの場合には、十分に埋め込んだ場合に比べ60%程度と、非常に小さい剛性しか発揮できないことが分かる。

この施工誤差は補強材が設置された後には、非常に注意深く検査を行わない限り、見過ごしてしまう可能性が高い。そのため、事前の注意事項として、正規

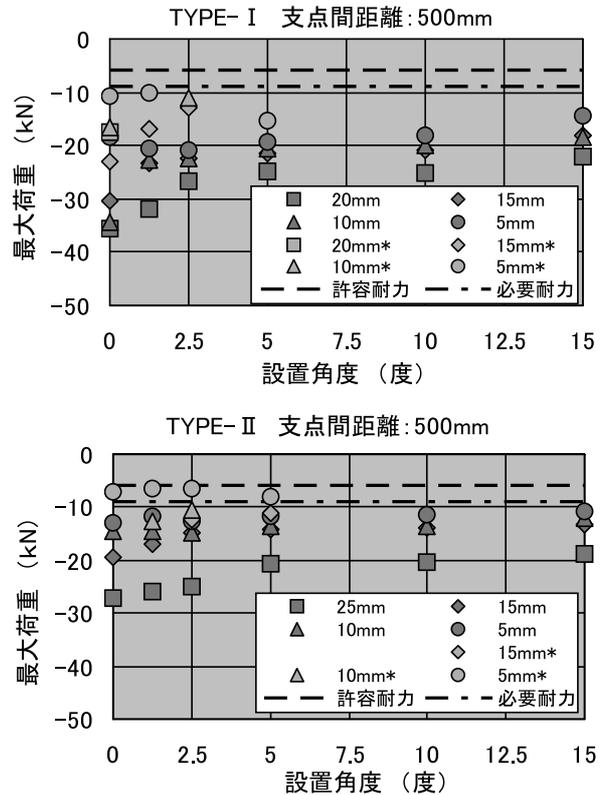


Fig.7 Effect of Bolt Depth on The Strength of Tie
支点間距離とボルトの埋め込み深さが最大荷重及ぼす影響

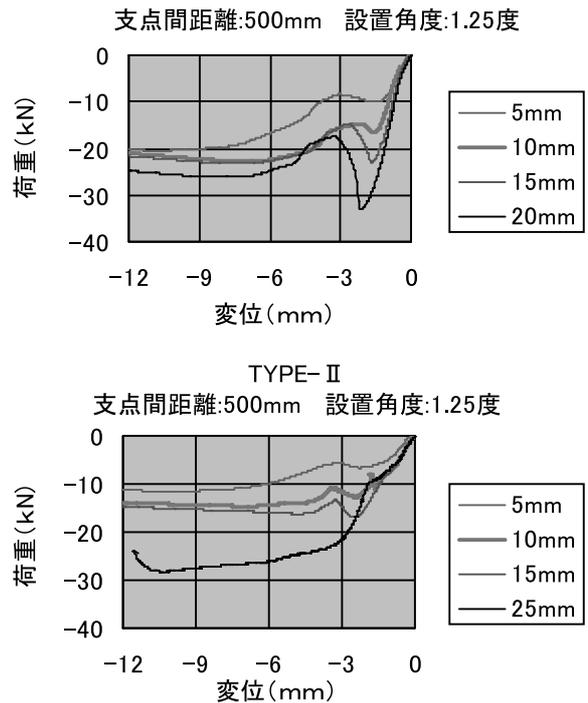


Fig.8 Load-Deformation Curve

の固定方法を作業員に周知徹底させる必要があると考える。

6. クランプ部の締め付けトルクが及ぼす影響

一般的に、足場等を組み立てる際に、トルクレンチが用いられることは、ほとんどない。そこで、補強材の足場側に対する取り付け部の締め付けトルクが、補強材の耐力に及ぼす影響を調べるための実験を行った。実験に先立ち、鳶工が組み立てた工作物からクランプの締め付けトルクを調査した。調査結果をFig.10に示す。クランプの締め付けトルクは、許容耐力を確認するための実験で定められており、 $34.3\text{N}\cdot\text{m}$ であることが前提となっている。しかし、ここではラウンドナンバーを用いて $35\text{N}\cdot\text{m}$ を基準として、 $5\text{N}\cdot\text{m}$ 毎に頻度評価を行った。調査結果は、基準とした締め付けトルク $35\text{N}\cdot\text{m}$ を中心に $30\text{N}\cdot\text{m}$ から $40\text{N}\cdot\text{m}$ の間の締め付けトルクであった。この結果を参考に実験は、TYPE-IIの補強材を用い、締め付けトルクを $25\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $35\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $45\text{N}\cdot\text{m}$ とした。また、支点間距離は 500mm 、設置角度は 2.5 度、 5.0 度、 10.0 度、 15.0 度とした。実験で得られた最大荷重に対する影響をFig.11に示す。締め付けトルクの差による最大荷重及び初期剛性に対する明確な差は確認できないため、締め付けトルクが補強材の力学的特性に及ぼす影響は小さいと考えられる。ただし、締め付けトルクが弱すぎると、通常の作業や日常発生する 10m/S 程度の風による繰り返し荷重を受けた場合に、緩んで外れる可能性が高くなる。逆に、強く締めすぎると繰り返し使われる補強材の寿命が縮めるため、適正トルクで締め付けることに勤めるべきである。

7. 繰り返し荷重の影響

Fig.12に繰り返し荷重を受けた場合の、補強材の荷重と変位の関係を示す。TYPE-I、IIともに座屈挙動を表す典型的なスリップモデル現象が確認される。

TYPE-Iにおいては、荷重ゼロからの立ち上がりの剛性は、変位の進行に伴い低下している。TYPE-IIにおいては、一度除荷を行った後の再載荷した時の剛性は、初期剛性よりも高くなった。さらに変位を進行させた場合にも、この傾向は同様で、荷重ゼロからの立ち上がりの剛性に変化は確認されなかった。また、同一変位量に至るまでの載荷と除荷を繰り返しても剛性低下や耐力低下がない安定した履歴曲線を描いた。

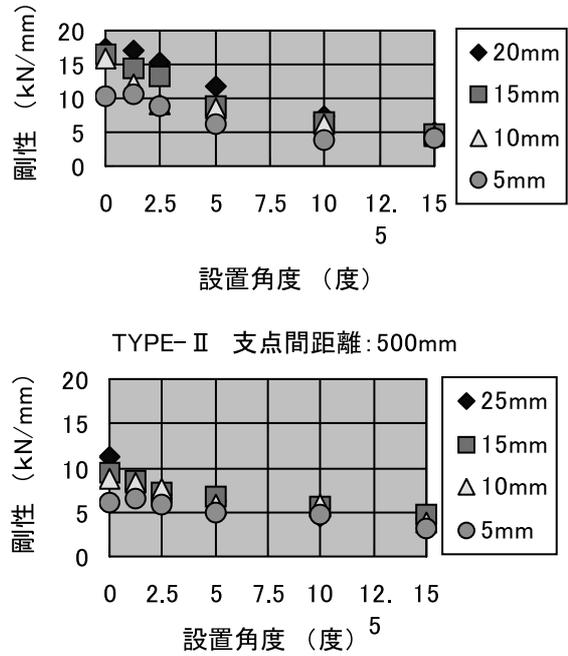


Fig.9 Effect of Bolt Depth on The Stiffness of Tie

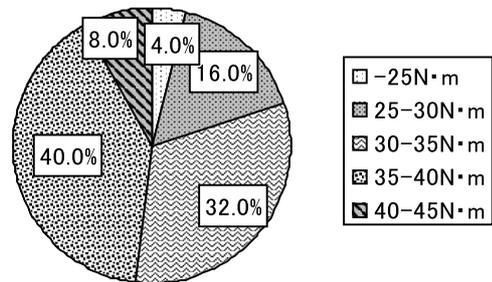


Fig.10 Survey of torque

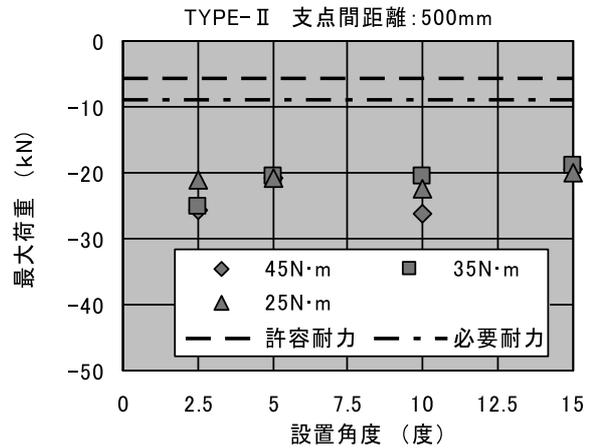


Fig.11 Effect of torque on the strength of Tie.

8. 固定構造物の強度

補強材の施工誤差とは直接的な関係ではないが、補強材自体の強度ではなく、取り付けられる側の強度が補強材の強度に影響を与えることがある。例えば、ALC版等の比較的強度が低い材料に補強材を取り付けると、補強材が健全な状態であっても、アンカー部から損傷が発生し、補強材としての機能を失う場合がある。ALC版のアンカー強度については、多くの既往の研究³⁾において実験結果等が公表されているので、実験は省略したが、ALC版用のアンカーを使用した場合において、およそ5kNの荷重が限界荷重となる。この荷重は、補強材の許容耐力に満たない。また、限界荷重を経験した後は、全く荷重を負担することができない不安定な固定方法であると言える。このように、補強材は、全く損傷を受けなくても、補強材が機能を失う場合がある。このような場合には、一箇所にかかる荷重を分散させる、あるいは取り付けられる側の構造物を補強する等の措置を講じる必要がある。

9. まとめ

- 1) 足場の主たる耐力、剛性を負担する補強材の力学的特性を実験的に調べた。
- 2) 補強材の圧縮耐力に支点間距離が及ぼす影響は小さかったが、設置角度が及ぼす影響は大きく、設置角度が5度以内では、圧縮耐力は比例的に低下し、5度を超えると設置角度に関わらず、ほぼ一定値を示した。
- 3) 引張耐力に関しては、支点間距離による影響は比較的大きくなったが、設置角度による影響は微小であった。
- 4) 圧縮耐力は、支点間距離、設置角度に関わらず、引張耐力を下回ったが、構造規格で定められた強度を保有していた。
- 5) 補強材の設置角度が、補強材の初期剛性に及ぼす影響は顕著であった。このように剛性が著しく異なる補強材が混在することにより、特定の補強材に応力が集中することが危惧される。
- 6) 固定用ボルトの埋め込み深さが不十分な場合には、耐力と剛性が著しく低下するため、補強材と

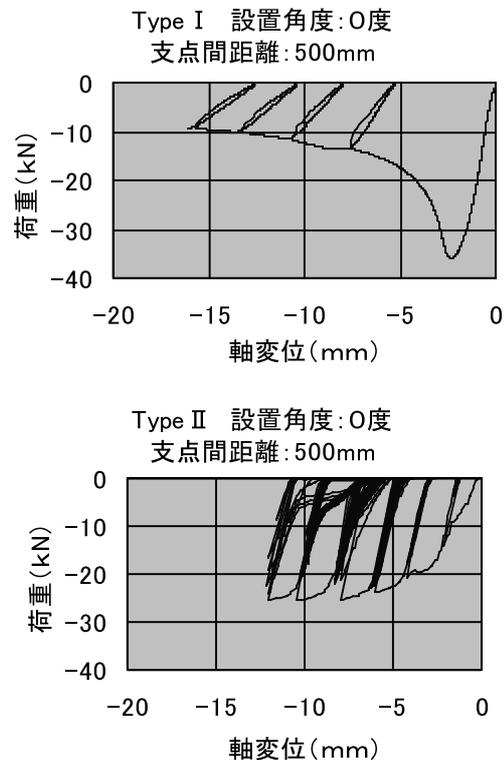


Fig.12 Load-Deformation Curve

しての性能を発揮できなくなる。

- 7) クランプ部分の締め付けトルクが補強材の耐力に及ぼす影響は小さかった。

参考文献

- 1) 仮設機材構造基準とその解説、仮設工業会、1986
- 2) 風荷重に対する安全技術指針、仮設工業会、1999
- 3) 例えば 浜田他、穿孔セメントモルタル充填式後施工アンカーのALC版への適応性について、九州産業大学工学部研究報告、PP.153-161、1991
施工誤差が補強材の力学的性質に及ぼす影響
高梨成次、大幡勝利