

3.6 天頂部接着系ボルトの引抜試験

— 目 次 —

| | | |
|-------|----------------------------|-----|
| 3.6.1 | 接着系ボルト引抜試験の概要..... | 290 |
| 3.6.2 | 引抜試験の方法..... | 290 |
| 3.6.3 | 引抜試験の結果..... | 291 |
| 3.6.4 | 荷重変位曲線による接着系ボルトの分類..... | 298 |
| 3.6.5 | 引抜強度と定着長の関係..... | 299 |
| 3.6.6 | ダクト断面別の接着系ボルト分析..... | 301 |
| 3.6.7 | 付着強度に着目した分析..... | 308 |
| 3.6.8 | 引抜試験結果と外観項目・環境項目による分析..... | 318 |

3.6.1 接着系ボルト引抜試験の概要

3.6.1.1 試験の内容

- 1) 対象区間 : 笹子トンネル上り線全線 (天井板落下区間を除く)
- 2) 実施期間 : 2012 (平成 24) 年 12 月 18 日 ~ 2012 (平成 24) 年 12 月 30 日

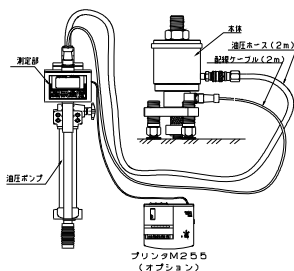
| | 内容 | 実施数 |
|------|---|--------|
| 当初試験 | トンネル全体でランダムな配置となるように配慮して実施 (天井板落下区間とその前後区間を除く) | 141 箇所 |
| 追加試験 | 天井板落下区間の前後区間や当初引抜試験で引抜強度の低い箇所など | 44 箇所 |

3.6.2 引抜試験の方法

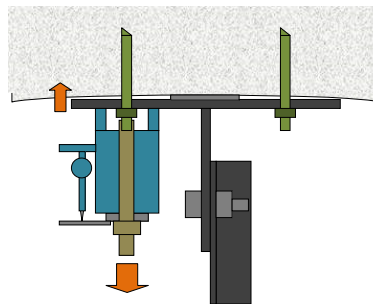
- ・ センターホールジャッキを用い、接着系ボルトの引抜試験を実施。
- ・ 試験は、吊り材締結ボルトとの干渉を避けるため、東京方向に向かって左側（走行車線側、排気ダクト側）で行う。また安全確保のため、CT鋼の上から実施。
- ・ 接着系ボルト材料の降伏荷重相当（40kN/本）を目標に载荷を行い、引抜強度の測定及び荷重変位曲線や接着系ボルトの変位量を記録。
- ・ 荷重が 40kN に達した時点で試験を終了した。



引抜試験の実施

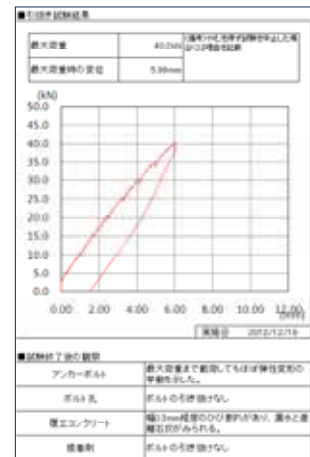


引抜試験の使用機材



- ・ 引抜試験は、上部CT鋼が外せないため、CT鋼フランジの上から実施
- ・ 変位の計測は、変位計を試験機本体側面に固定する間接変位測定法とした。
- ・ 試験開始初期の測定結果には、これら計測方法が影響することに注意する必要がある。

試験機設置図

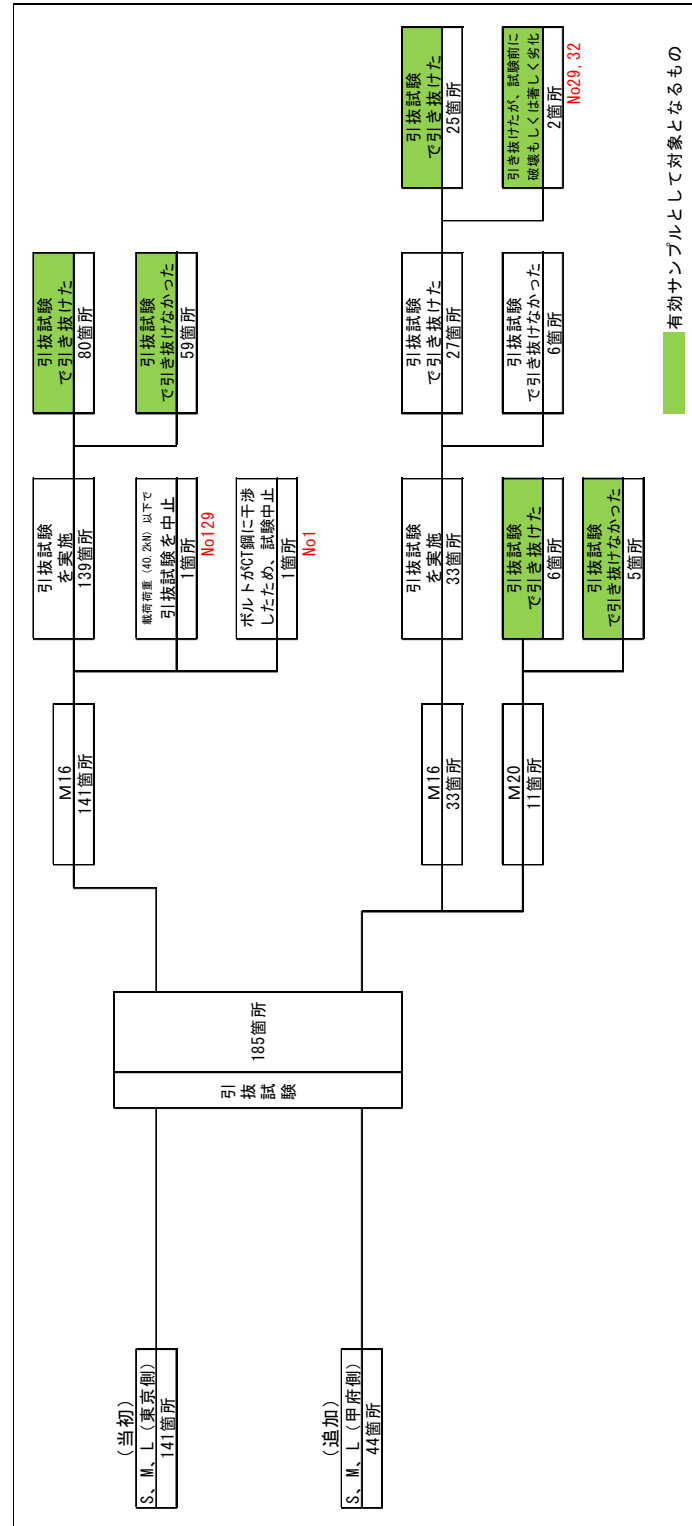


試験記録表の記録例



3.6.3 引抜試験の結果

3.6.3.1 引抜試験のサンプルの分類

引抜試験は、当初試験（ランダムサンプリング）で実施されたもの、追加試験で実施されたものに分類される。各試験でのサンプルの分類状況は以下のとおりである。



3.6.3.2 引き抜けた接着系ボルト

| ダクト断面 | 設計仕様 | 引き抜けた接着系ボルトサイズ | 引き抜けた接着系ボルト(例) |
|-------|-------------------------|-----------------|---|
| S | M12 全長… | M16 全長 200mm |  |
| | 200mm | M16 全長 200mm | |
| L | 東京側 M16 全長… | M16 全長 200mm |  |
| | 名古屋側 M20 全長 250mm | M20 全長 250mm | |

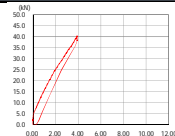
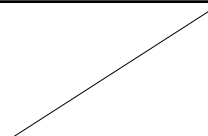
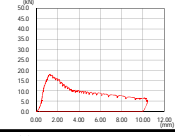

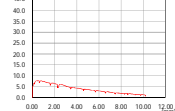

S, M, L断面(名古屋側)にて、ボルトサイズが変更されていたことは、建設当時の書類が残っておらず、引抜試験時に判明

3.6.3.3 引抜強度分析

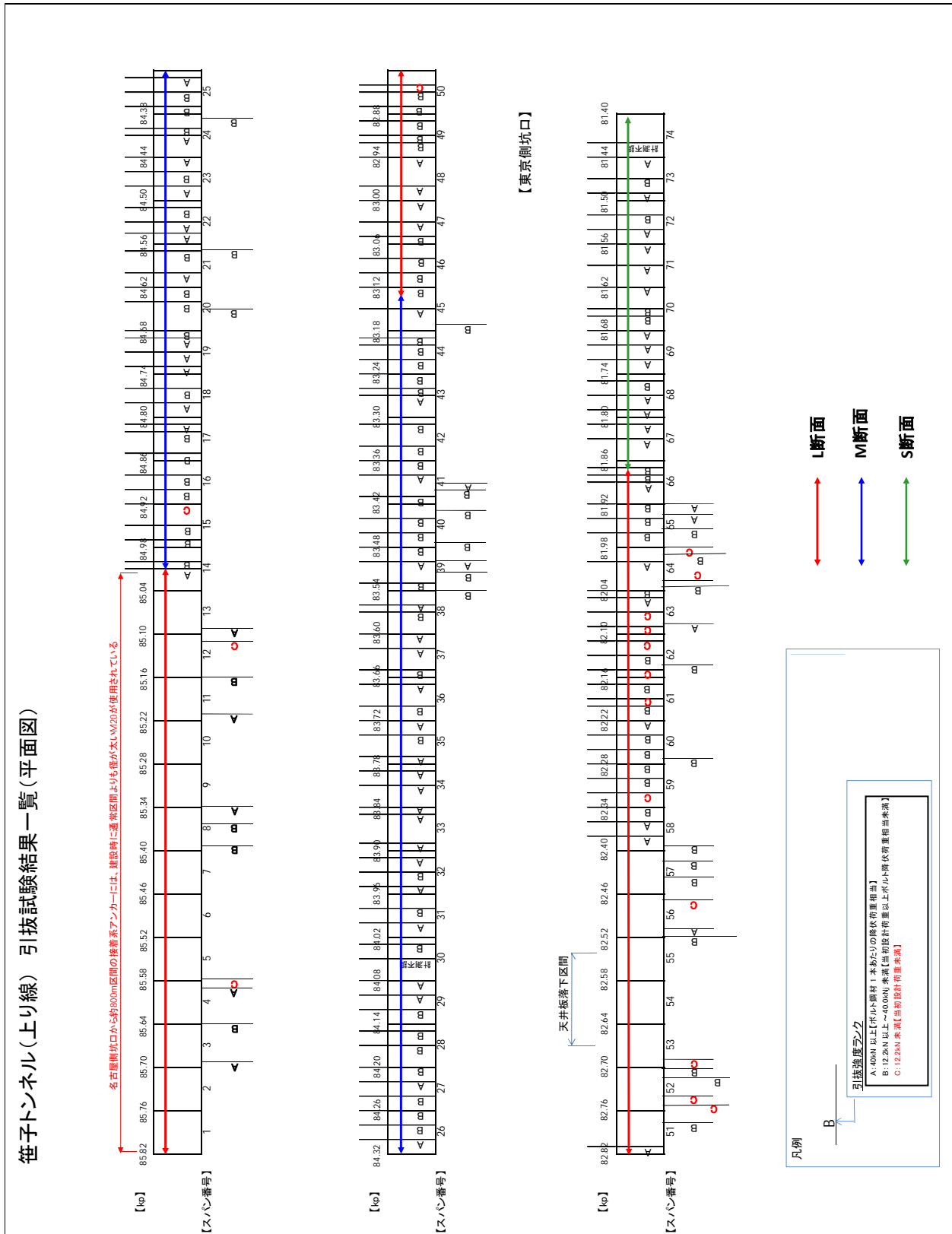
(1) 引抜強度ランクの分類

- ・ 引抜試験結果を、3つのランクに分類。
 - A ランク：40.0kN 以上【ボルト鋼材 1 本あたりの降伏荷重相当】
 - B ランク：12.2kN 以上～40.0kN 未満【当初設計荷重以上，ボルト降伏荷重相当未満】
 - C ランク：12.2kN 未満【当初設計荷重未満】
- ・ ランダムサンプリング（139 箇所）で、A ランクが 42%、B ランクが 52%、C ランクが 6%。
- ・ 引抜試験の結果、十分な強度を有する接着系ボルトもある一方で、強度が不足しているものも確認された。

引抜試験の結果（有効サンプル数 183 本）

| 引抜強度 ランク | 箇所数 割合 | | | 引抜試験結果 | 引抜けた接着系アンカー 写真 (一般例) |
|--|-----------------------|----------------|----------------|---|---|
| | ランダムサンプリング (139箇所) | 追加試験 (44箇所) | 全体 (183箇所※) | | |
| A 40kN以上 【ボルト鋼材1本あたりの 降伏荷重相当】 | 59 箇所 | 11 箇所 | 70 箇所 |  |  |
| | 42 % | 25 % | 38 % | | |
| B 12.2kN以上～40.0kN未満 【当初設計荷重以上， ボルト降伏荷重相当未満】 | 72 箇所 | 25 箇所 | 97 箇所 |  |  |
| | 52 % | 57 % | 53 % | | |
| C 12.2kN未満 【当初設計荷重未満】 | 8 箇所 | 8 箇所 | 16 箇所 |  |  |
| | 6 % | 18 % | 9 % | | |

(2)引抜強度ランク別分布状況

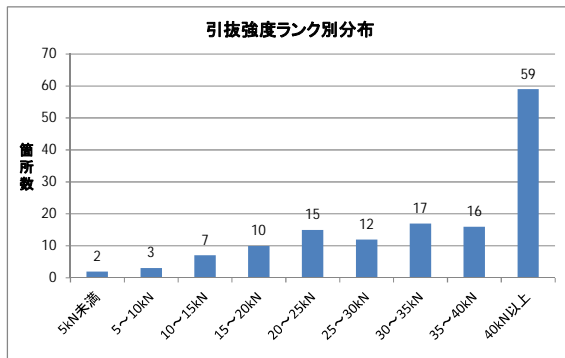
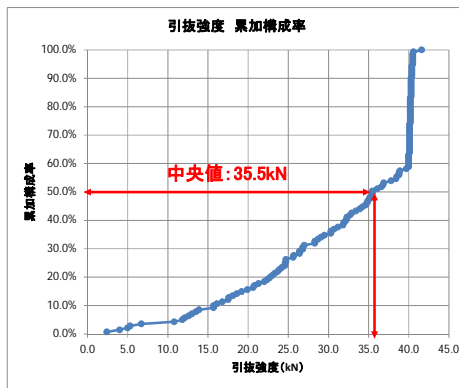


(3)引抜試験の結果

- ・当初試験 139 箇所の引抜強度は、中央値 35.5kN。中央値でみると、引抜強度/作用力の値は 2.9 程度となっている。
- ・試験で引き抜けなかった接着系ボルトを除いた場合、引抜強度の平均値は 31.8kN。この平均値でみると、引抜強度/作用力の値は 2.6 程度となっている。
- ・全体として引抜強度/作用力の値は 1.0 以上が確保されているものの、全 183 箇所中 16 箇所 で引抜強度/作用力の値が 1.0 (12.2kN) 以下の接着系ボルトがあった。

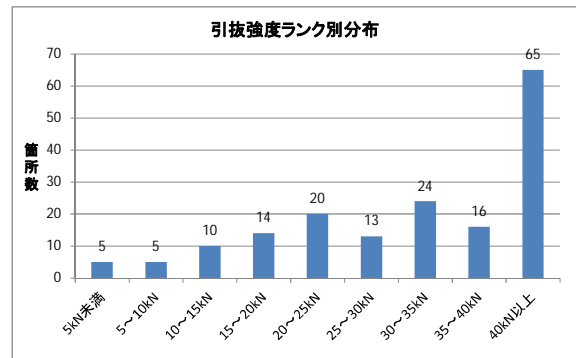
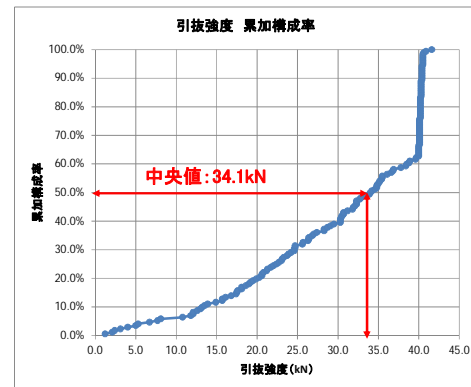
・当初試験 139 箇所

| 引抜強度 | kN |
|------|------|
| 中央値 | 35.5 |
| 平均値 | 31.8 |



・(参考) 当初試験と追加試験の全サンプル 172 箇所※

| 引抜強度 | kN |
|------|------|
| 中央値 | 34.1 |
| 平均値 | 30.4 |

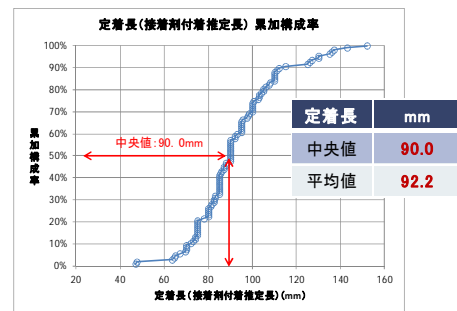
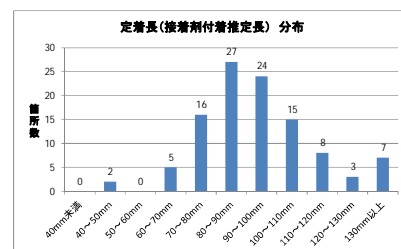
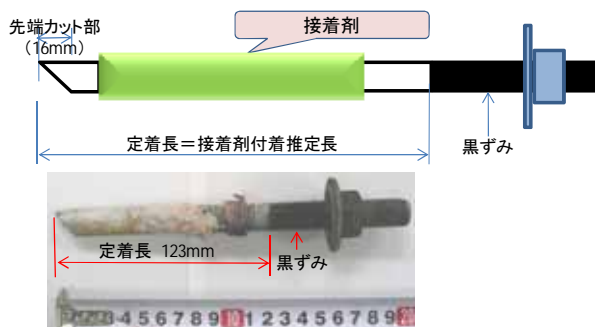


※M20 ボルト 11 本を対象外とした箇所数

3.6.3.4 引き抜けた接着系ボルトの接着剤付着状況

(1) 定着長(接着剤付着推定長)の分布

- ・ 引き抜けた接着系ボルト 107 本※を観察。接着剤が付着していたと想定される区間（先端から黒ずみまでの区間）及びボルトに残存した接着剤区間の分布を観察した。
- ・ ボルト孔の内視鏡観察の結果、先端カット部から黒ずみが付着している位置までの間に接着剤が付着していたことが確認された。
- ・ これらの観察結果から、接着剤区間（先端から黒ずみまでの区間）の長さを定着長とする。
- ・ 引き抜けた接着系ボルトでは、定着長の平均値 92.2mm、中央値 90.0mm。平均値は、当初設計定着長（130mm）の 71%相当。



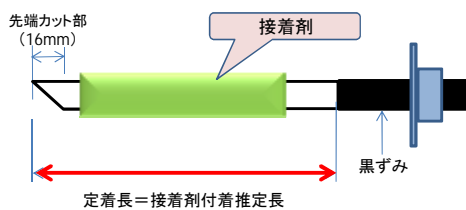
| 各区分名 | 区間の説明 |
|--|-----------------------------------|
| 定着長 (接着剤付着推定長) | 先端カット部から接着剤の塊を含み黒ずみが付着している位置までの長さ |
| 先端カット部 | ボルト先端の斜めカット部(長さ16mm) |
| ※引抜試験で引き抜けた113本からM20の接着系ボルト6本を除いた107本を集計 | |

(2) C ランクボルトの定着長(接着剤付着推定長)の分布

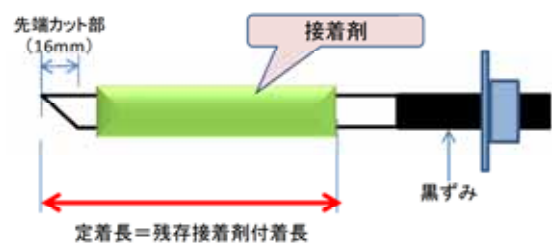
- ・引抜試験でCランクに分類された接着系ボルトについて、その定着長について着目した。

| 引抜強度 ランク | 箇所数 割合 | | | 引抜けた接着系アンカー 写真 (一般例) |
|-----------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------------------|
| | ランダムサンプリング (139箇所) | 追加試験 (44箇所) | 全体 (183箇所※) | |
| C 12.2kN未満 【当初設計荷重未滿】 | 8 箇所 | 8 箇所 | 16 箇所 | |
| | 6 % | 18 % | 9 % | |

① 定着長を黒ずみ以外の場所とした場合



② 定着長を残存接着剤付着長とした場合



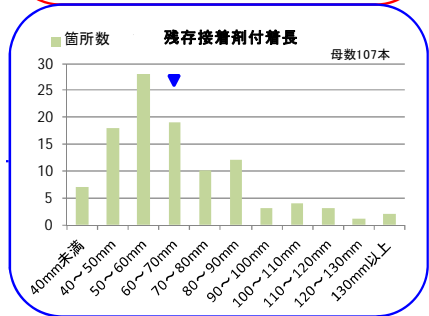
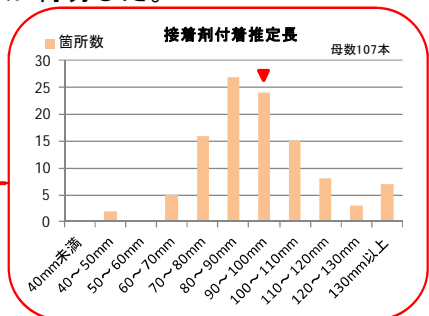
サンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 の接着系ボルト 6 本を除いた 107 本を対象に集計。

C ランクの接着系ボルトの定着長は明らかに短い事が判明した。

Cランクボルト一覧

| 試験 NO | ボルトNO (西坑口から の通しNO) | 引抜試験結果(kN) | | | | |
|----------|---------------------------|--------------|-----------------------|--|----------------------|------|
| | | 引抜強度 (kN) | キャップ長 (写真判読 mm) | 接着剤付着 推定長 【黒ずみ 以外の長さ】 (mm) | 残存接着剤 付着長 (mm) | |
| 1 | 29 | 4854 | 3.1 | 40 | 47 | 28 |
| 2 | 32 | 4805 | 1.2 | 80 | 105 | 73.5 |
| 3 | 36 | 4741 | 2.4 | 40 | 85.5 | 41 |
| 4 | 38 | 4709 | 4.0 | 50 | 90 | 37.5 |
| 5 | 39 | 4680 | 11.8 | 55 | 80 | 45 |
| 6 | 42 | 4609 | 5.0 | 40 | 70 | 30 |
| 7 | 44 | 4550 | 5.3 | 45 | 65 | 51 |
| 8 | 52 | 5326 | 12.1 | 50 | 80 | 48.5 |
| 9 | 59 | 5952 | 7.7 | 75 | 88 | 40 |
| 10 | 62 | 4133 | 2.1 | 45 | 95 | 30 |
| 11 | 65 | 4079 | 12.1 | 55 | 85 | 58 |
| 12 | 66 | 4052 | 8.1 | 40 | 74 | 40 |
| 13 | 69 | 3939 | 6.7 | 50 | 90 | 43 |
| 14 | 170 | 1102 | 10.8 | 75 | 87 | 55 |
| 15 | 176 | 850 | 0.0 | 0 | 160 | 0 |
| 16 | 182 | 344 | 0.0 | 40 | 70 | 35 |

■ : CランクボルトのうちM20ボルト



| | | | | | | | | | | | |
|---|----------|------|-----|--------------------------------------|----------|-------|-------|---|----------|-------|----|
| C ラ ン ク ボ ル ト (M 1 6 | 接着剤付着推定長 | | mm | M 1 6 ボ ル ト 全 数 | 接着剤付着推定長 | | mm | = | 接着剤付着推定長 | | mm |
| | 中央値 | 85.3 | | | 中央値 | 90.0 | | | 中央値の差 | -4.8 | |
| | 平均値 | 81.5 | | | 平均値 | 92.2 | | | 平均値の差 | -10.7 | |
| | 残存接着剤付着長 | | mm | | 残存接着剤付着長 | | mm | | 残存接着剤付着長 | | mm |
| 中央値 | 42.0 | | 中央値 | 60.0 | | 中央値の差 | -18.0 | | | | |
| 平均値 | 44.3 | | 平均値 | 65.3 | | 平均値の差 | -20.9 | | | | |

※引抜けた 107 本

3.6.4 荷重変位曲線による接着系ボルトの分類

引抜試験結果による接着系ボルトの機能分類の定義

- ・荷重変位曲線や引抜強度等に着目し、接着系ボルトの機能分類を行った。分類は以下のとおりである。

◆抵抗機能を有していたボルト

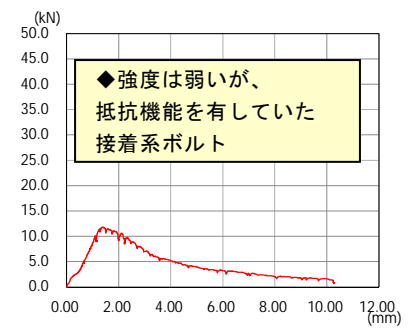
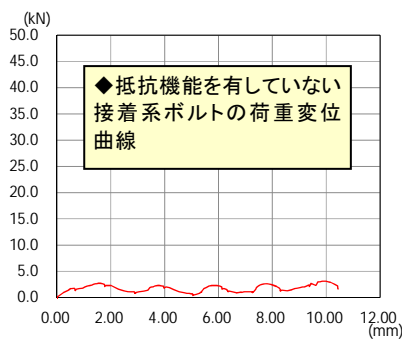
引抜試験で、Aランク(引抜強度: 40.0kN以上)に属する接着系ボルト

◆抵抗機能を有していない接着系ボルト

引抜試験で、Cランク(引抜強度: 12.2kN未満)に属し、荷重変位曲線から最大荷重のピーク値が明確に現れずに引き抜けた接着系ボルト

◆引抜強度は弱いですが、抵抗機能を有していた接着系ボルト

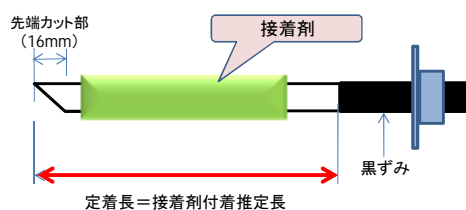
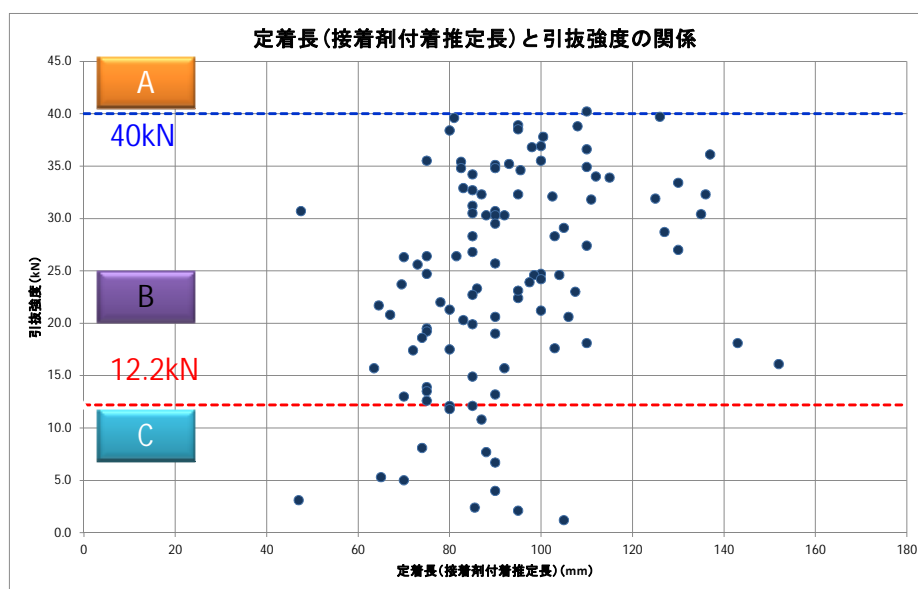
引抜試験で、Cランク(引抜強度: 12.2kN未満)に属し、荷重変位曲線から最大荷重のピーク値が現れて引き抜けた接着系ボルト。



3.6.5 引抜強度と定着長の関係

3.6.5.1 引抜強度と定着長(接着剤付着推定長)の関係分析

- ・ ランク A, B, C の区分と比率は、3.6.3.3 を参照
- ・ 引抜強度と定着長 (接着剤付着推定長) には明瞭な相関関係がみられない。
- ・ C ランクの接着系ボルトには、定着長 (接着剤付着推定長) が B ランクの一部の接着系ボルトのように長いものはみられない。

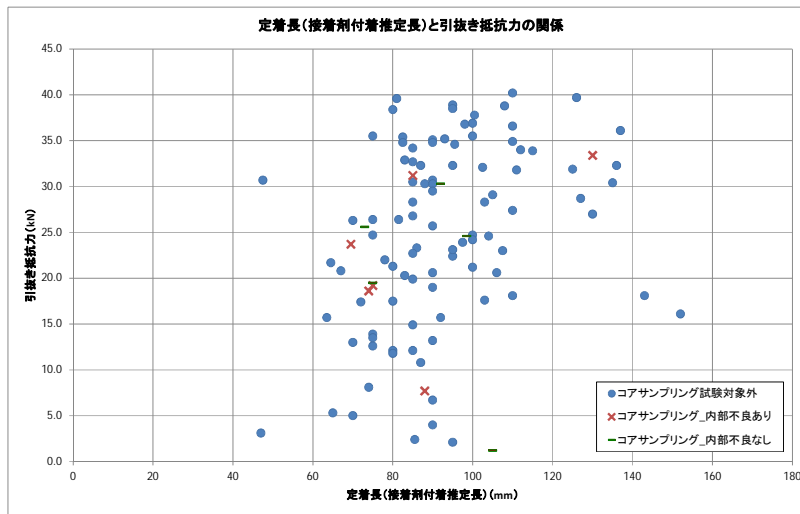


※サンプルは、引抜試験で引き抜けたM16の接着系ボルト107本を対象とした。

※定着長は、先端カット部(16mm)を含めた接着剤付着推定長とした。

3.6.5.2 引抜強度と定着長との関係分析【コアサンプリング】

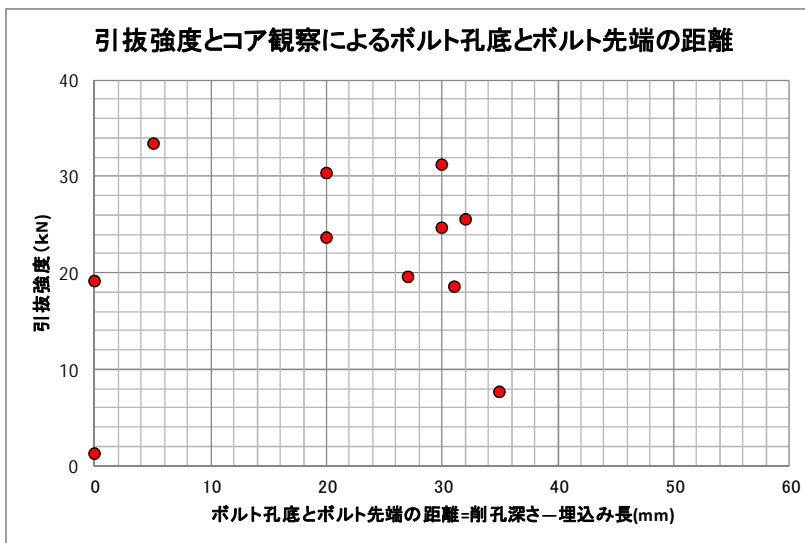
- ・ 散布図のサンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 ボルト 6 本を除いた 107 本を対象として散布図を作成。



- ・ 引き抜けたボルトのコアサンプリング 11 本のうち、ボルト孔底と先端が一致しないボルト以外に、ひびわれ、一部空隙、接着剤変色が確認されたボルトは 6 本であった。
 - ・ 母材（覆工コンクリート）の設計基準強度は、 20N/mm^2 である。
- ※ 定着長：ボルトの先端部から黒すすまでの区間の長さ（接着剤付着推定長）とした。

3.6.5.3 引抜強度とボルト孔底からボルト先端までの距離の関係分析【コアサンプリング】

- ・ 採取したコア 57 本から引抜試験を実施した全 11 本のうち、ボルト孔底とボルト先端が一致する（削孔深さと埋込み長が一致する）ボルトは 2 本。
- ・ ボルト孔底とボルト先端の距離は、30 mm 程度のボルトが多い。
- ・ ボルト孔底とボルト先端が一致するものでも引抜強度が極めて低いボルトが存在する。
- ・ 引抜強度が、ボルト 1 本当たりの荷重 12.2kN を下回るボルトが 2 本存在する。

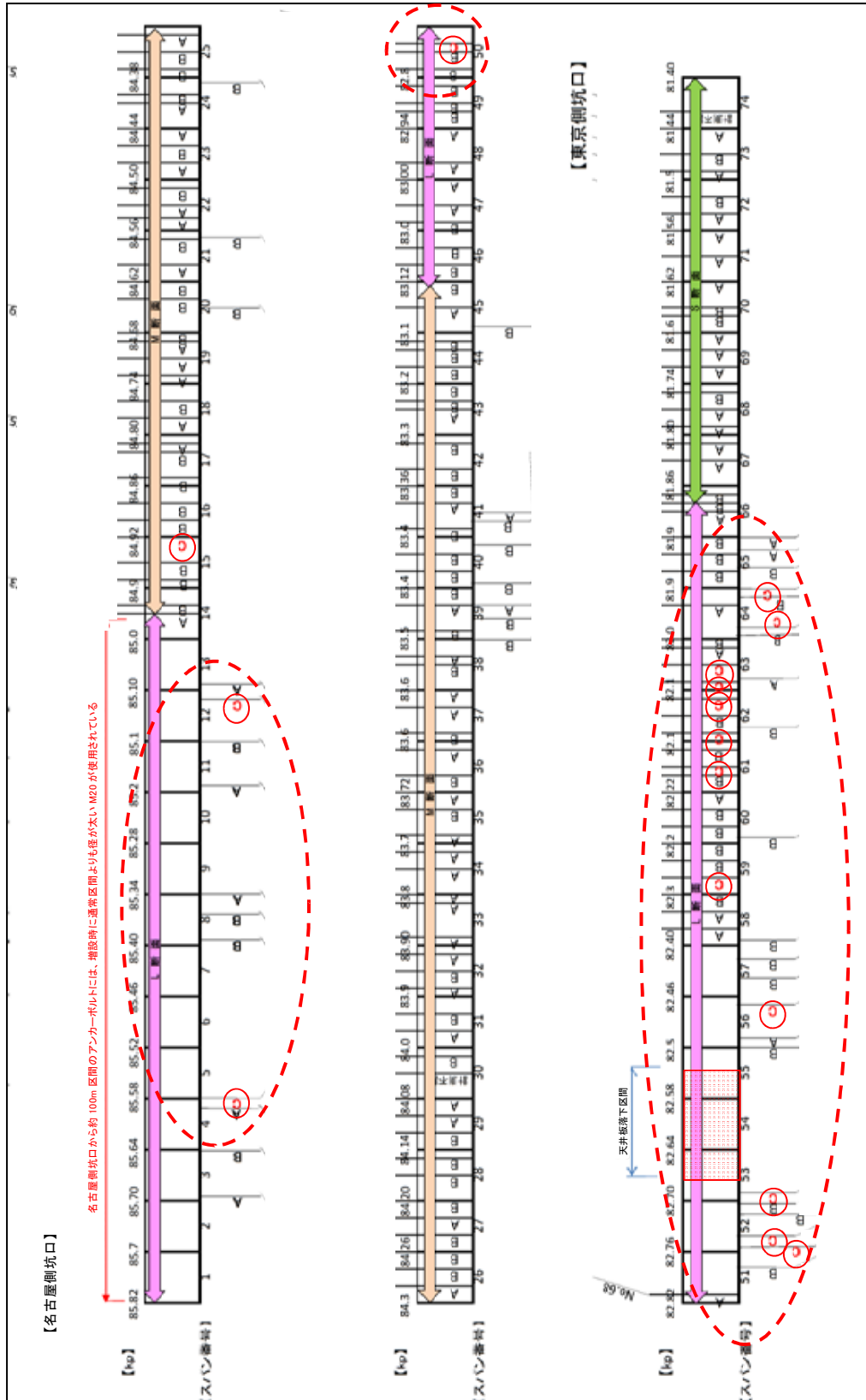


- ・ 散布図のサンプル 11 本は、引抜試験により引き抜けた接着系ボルトの位置で、接着系ボルト孔がコア内に収まるようにコア抜きをし、コア観察を行ったボルト孔である。

3.6.6 ダクト断面別の接着系ボルト分析

3.6.6.1 ダクト断面別の引抜強度の傾向

- ・引抜強度が 12.2kN 未満の C ランクの接着系ボルトが、落下区間を含む L 断面に集中。
(15 本/16 本)

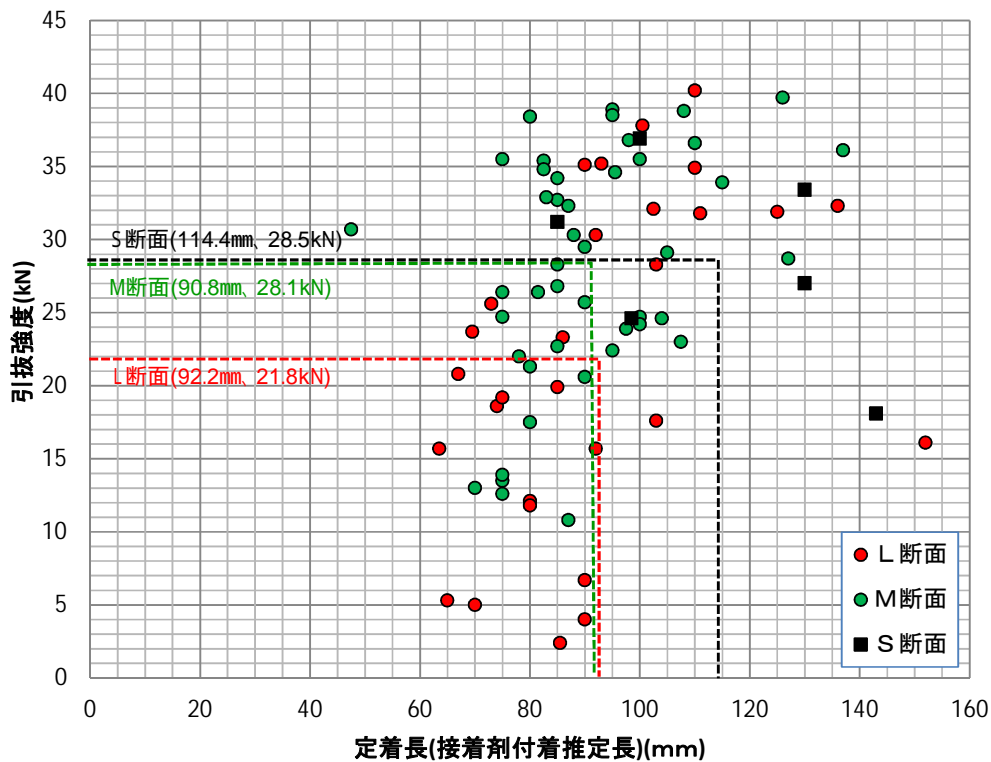


3.6.6.2 ダクト断面別の引抜強度と定着長の関係

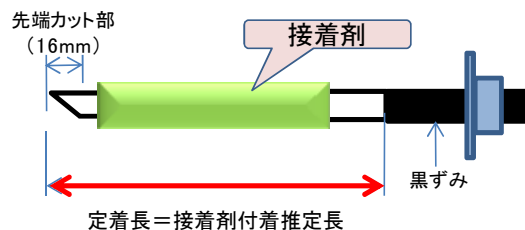
(1) 定着長を接着剤付着推定長とした場合

- ・ L断面は、M・S断面に比べ平均引抜強度が約6kN低い。
- ・ S断面は、L・M断面に比べ平均定着長(接着剤付着推定長)が20mm以上長い。
- ・ L断面は、平均定着長(接着剤付着推定長)がM断面と同等であるものの、平均引抜強度が大きく異なる。

引抜強度と定着長(接着剤付着推定長)のダクト区間の傾向



| | 平均定着長 (接着剤付着推定長) | 平均引抜強度 |
|-----|---------------------|--------|
| L断面 | 92.2mm | 21.8kN |
| M断面 | 90.8mm | 28.1kN |
| S断面 | 114.4mm | 28.5kN |



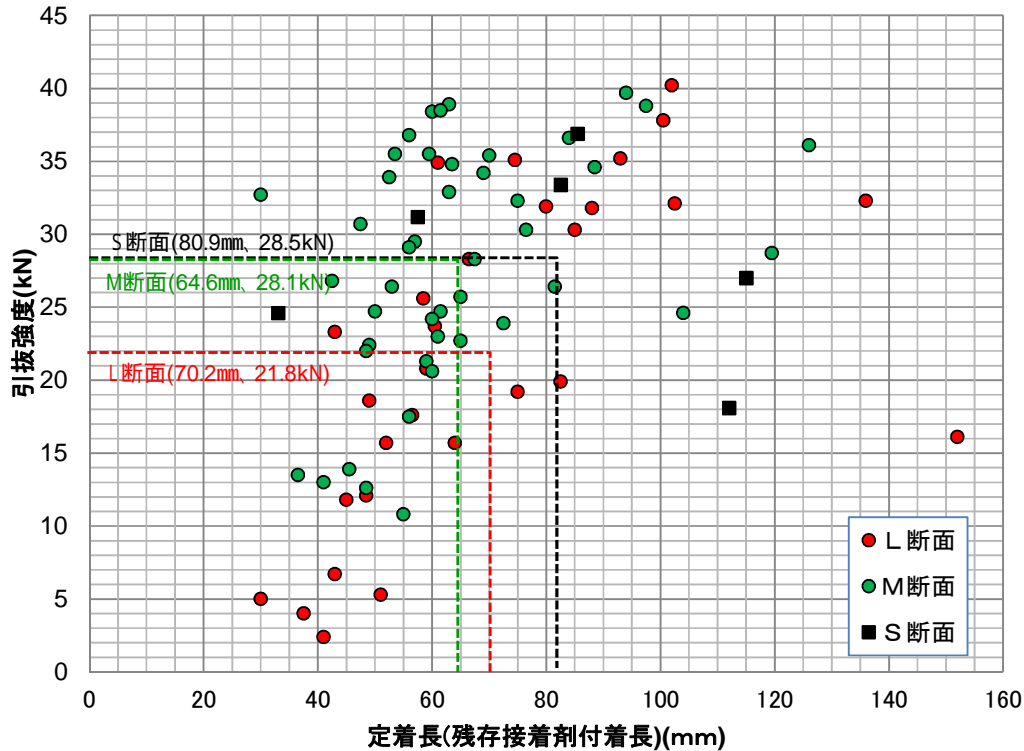
※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

※定着長は、先端カット部(16mm)を含めた接着剤付着推定長(3.6.7.1参照)とした。

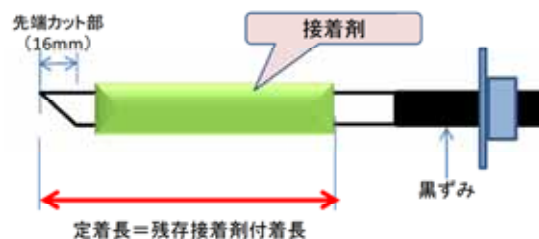
(2) 定着長を残存接着剤付着長とした場合

- ・ L断面は、M・S断面に比べ平均引抜強度が約6kN小さい。
- ・ M断面は、平均定着長が64.6mmと最小であるものの、平均引抜強度はL断面を上回る。

引抜強度と定着長(残存接着剤付着長)のダクト区間の傾向



| | 平均定着長 (残存接着剤付着長) | 平均引抜強度 |
|-----|---------------------|--------|
| L断面 | 70.2mm | 21.8kN |
| M断面 | 64.6mm | 28.1kN |
| S断面 | 80.9mm | 28.5kN |

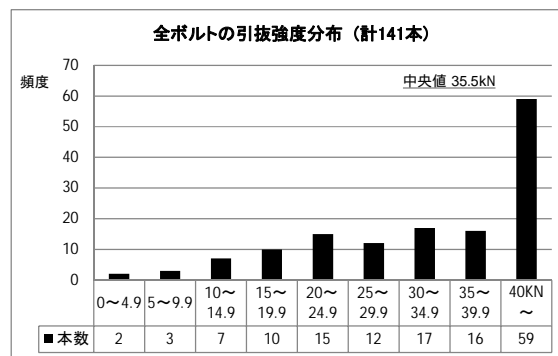
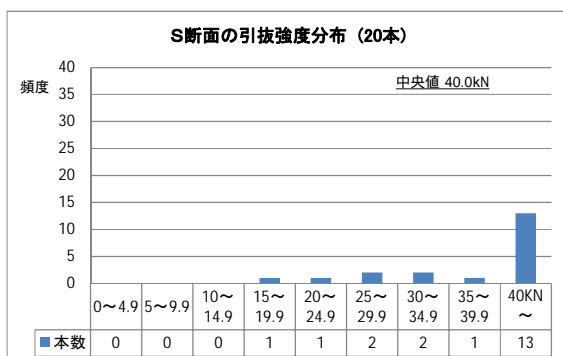
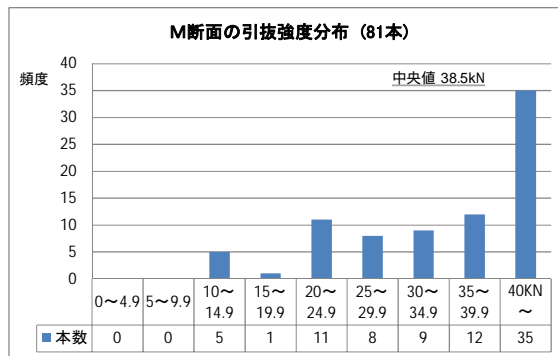
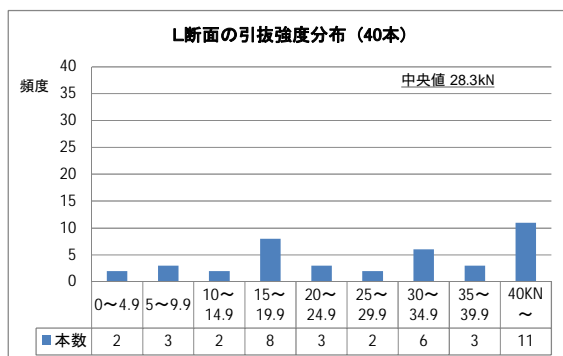


※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

※定着長：先端カット部(16mm)を含めた残存接着剤付着長(3.6.7.1参照)とした。

3.6.6.3 ダクト断面別の引抜強度の分布

- ・ S断面の接着系ボルトは、Aランクボルトの比率が高く、次いでM断面が高い。
- ・ L断面の接着系ボルトは、広範囲に引抜強度がばらついており、Cランクの接着系ボルトが多く存在する。
- ・ L断面の接着系ボルト引抜強度の中央値は、他の断面より10kN以上低い。



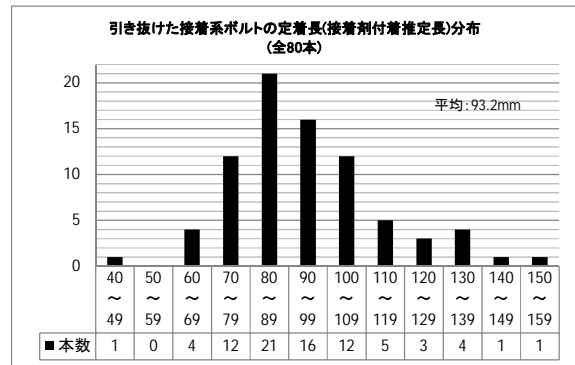
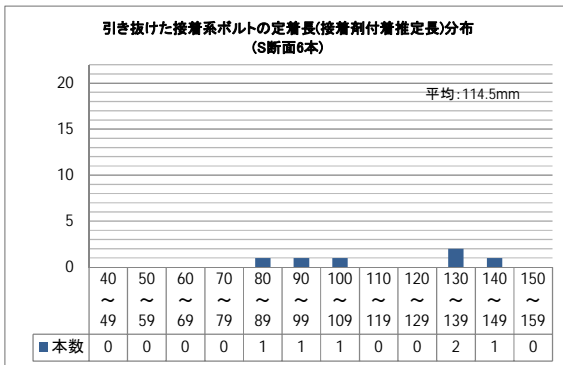
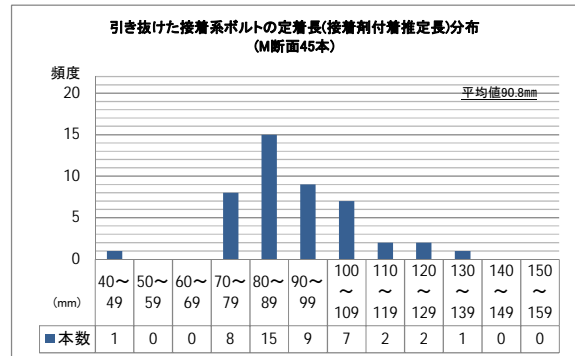
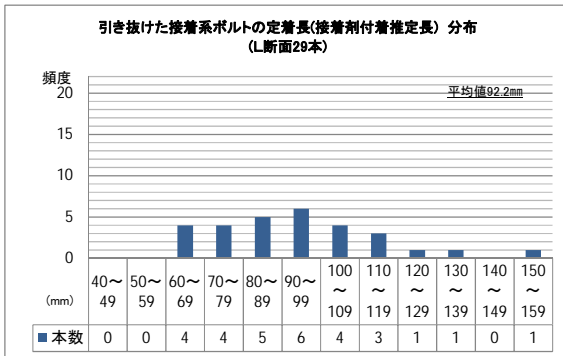
※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本を対象とした。

※定着長は、先端カット部(16mm)を含めた接着剤付着推定長(3.6.7.1参照)とした。

3.6.6.4 ダクト断面別の定着長の分布

(1) 定着長を接着剤付着推定長とした場合

- ・ 全接着系ボルトの定着長(接着剤付着推定長)の平均値は 93 mmであり、設計での定着長 130 mmを下回っている。
- ・ 全接着系ボルトの定着長(接着剤付着推定長)は、およそ 80~100 mmにピークを有する。
- ・ L断面の接着系ボルトの定着長(接着剤付着推定長)は、明確なピークがなく、広範囲に分散している。

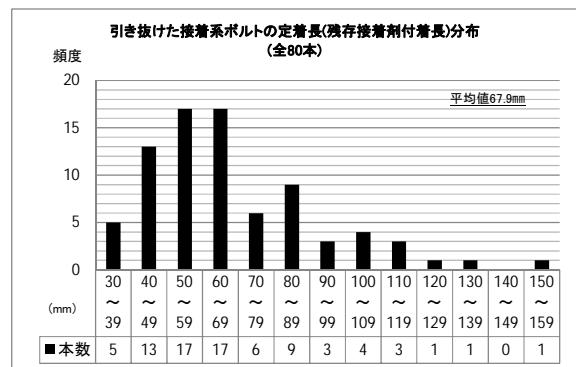
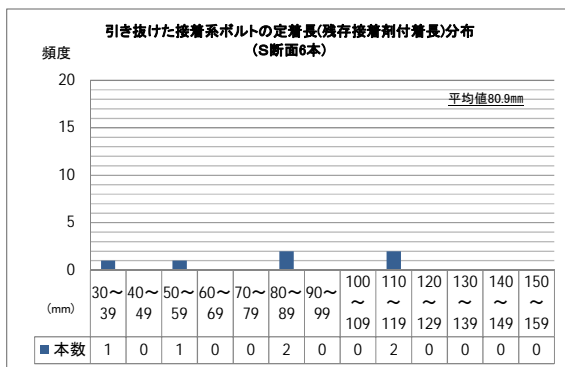
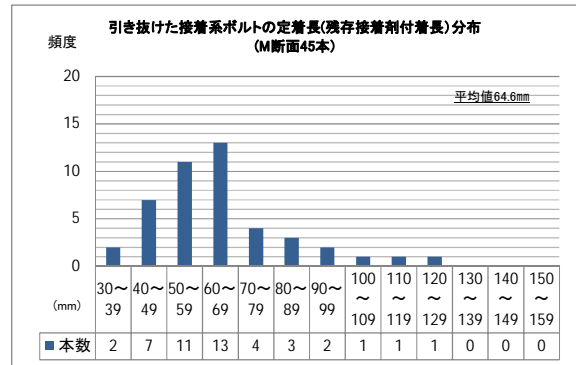
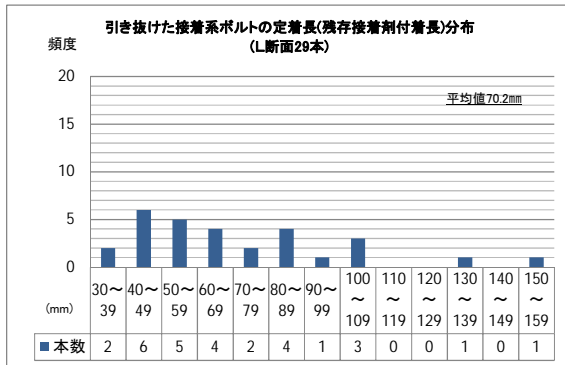


※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

※定着長は、先端カット部(16mm)を含めた接着剤付着推定長(3.6.7.1参照)とした。

(2) 定着長を残存接着剤付着長とした場合

- ・全接着系ボルトの定着長（残存接着剤付着長）の平均値は 68 mmであり、設計での 130 mmを下回っている。
- ・全接着系ボルトの定着長（残存接着剤付着長）は、およそ 50~70 mmにピークを有する。
- ・L断面の接着系ボルトの定着長（残存接着剤付着長）は、明確なピークがなく、広範囲に分散している。

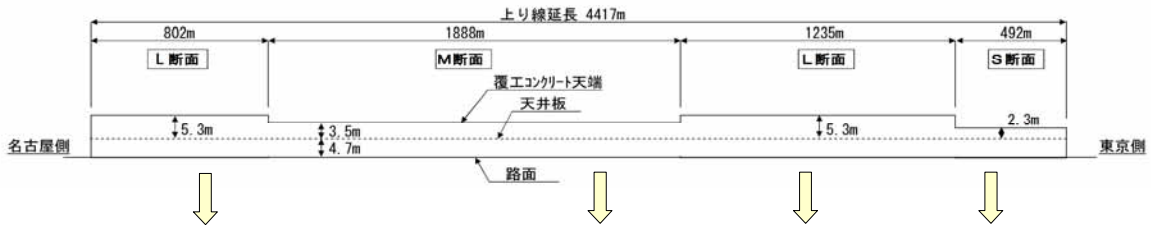


※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

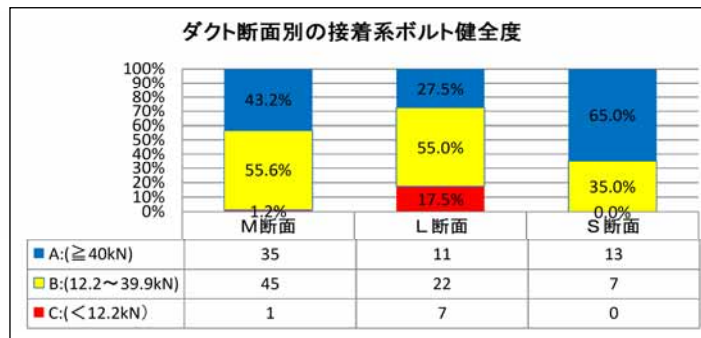
※定着長は、先端カット部(16mm)を含めた残存接着剤付着長(3.6.7.1参照)とした。

3.6.6.5 ダクト断面別の接着系ボルト引抜強度の傾向

- ・ L断面は、Aランク（40kN以上）の比率が低く、Cランク（12.2kN未満）の比率が高い。
- ・ S断面は、Aランク（40kN以上）の比率が高く、Cランク（12.2kN未満）がない。
- ・ M断面のAランク（40kN以上）とCランク（12.2kN未満）の比率は、L断面とS断面の中間的な比率を呈する。



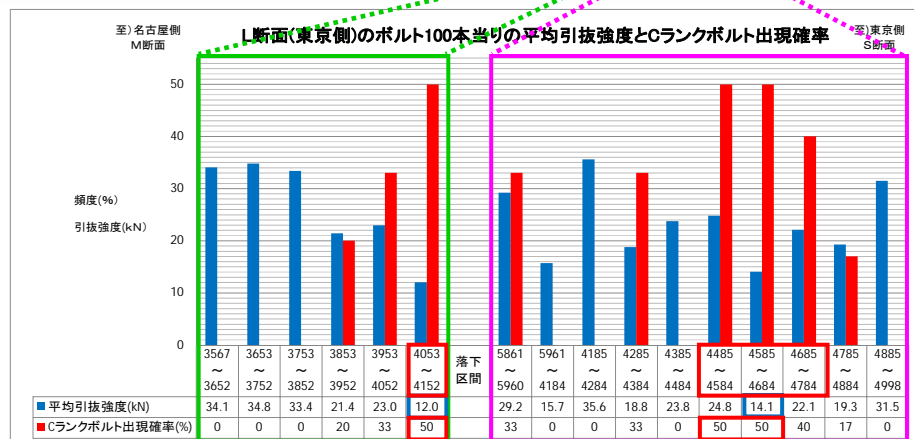
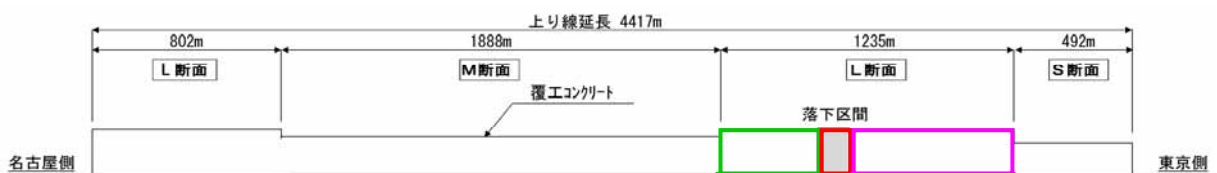
名古屋側 L断面は、M20で施工されているため、集計から除外



※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本を対象としている。

3.6.6.6 L断面(東京側)の引抜強度Cランクの空間分布傾向

- ・ L断面(東京側)のうちCランクの接着系ボルト(12.2kN未満)は、落下区間前後及び4500~4600番ボルト付近に分布する。
- ・ それらの区間では、Cランクの接着系ボルト(12.2kN未満)が50%確率で出現し、平均的な引抜強度も12~14kNと設計荷重(=12.2kN/本)にほぼ等しい。
- ・ 上記2区間以外の区間では、Cランクの(12.2kN未満)の出現確率が低いとともに、平均的な引抜強度も20kN以上あった。



※L断面(東京側)の非落下区間で引抜試験を行った62本を対象(当初試験40本+追加試験22本)とした。

3.6.7 付着強度に着目した分析

3.6.7.1 定着長の取り方の違いによる付着強度と定着長との関係

(1) 単位面積あたりの付着強度を算出するための各種定義

1) 定着長

付着強度は、定着長の考え方に依存するため、定着長は以下の3パターンで分析した。

2) 削孔径周長

先端カット部(16mm)を除いた定着長分は削孔径19mmの周長、先端カット部は削孔径周長の1/2とした。

3) 付着強度

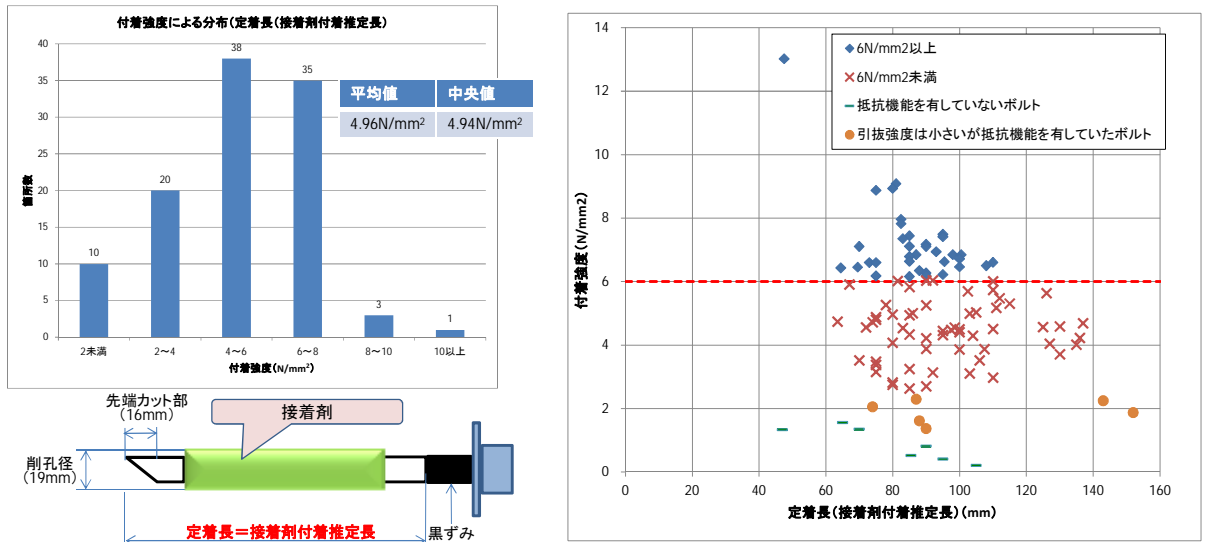
付着強度 = 引抜強度 / (定着長 × 削孔径周長) で算出した。

| 定着長 | 定義 | 説明図 |
|--------------|---|---|
| ① 接着剤付着推定長 | 先端カット部を含め、黒ずみまでの区間を定着長とする。 | <p>先端カット部 (16mm) 削孔径 (19mm) 接着剤 黒ずみ</p> <p>定着長 = 接着剤付着推定長</p> |
| ② 残存接着剤付着長 | 先端カット部を含め、接着剤の付着が認められた区間を定着長とする。 | <p>先端カット部 (16mm) 削孔径 (19mm) 接着剤 黒ずみ</p> <p>定着長 = 残存接着剤付着長</p> |
| ③ 残存接着剤付着区間長 | 接着剤の付着がない区間(擦り切れ区間)から接着剤の付着が認められた区間を定着長とする。 | <p>先端カット部 (16mm) 削孔径 (19mm) 接着剤 黒ずみ</p> <p>定着長 = 残存接着剤付着区間長</p> |

(2)算出結果

1)定着長を接着剤付着推定長とした場合

相当数の接着系ボルトで、材料承認願に添付された材料パンフレットに示される付着強度の下限値 (6N/mm² ※¹) を下回る。

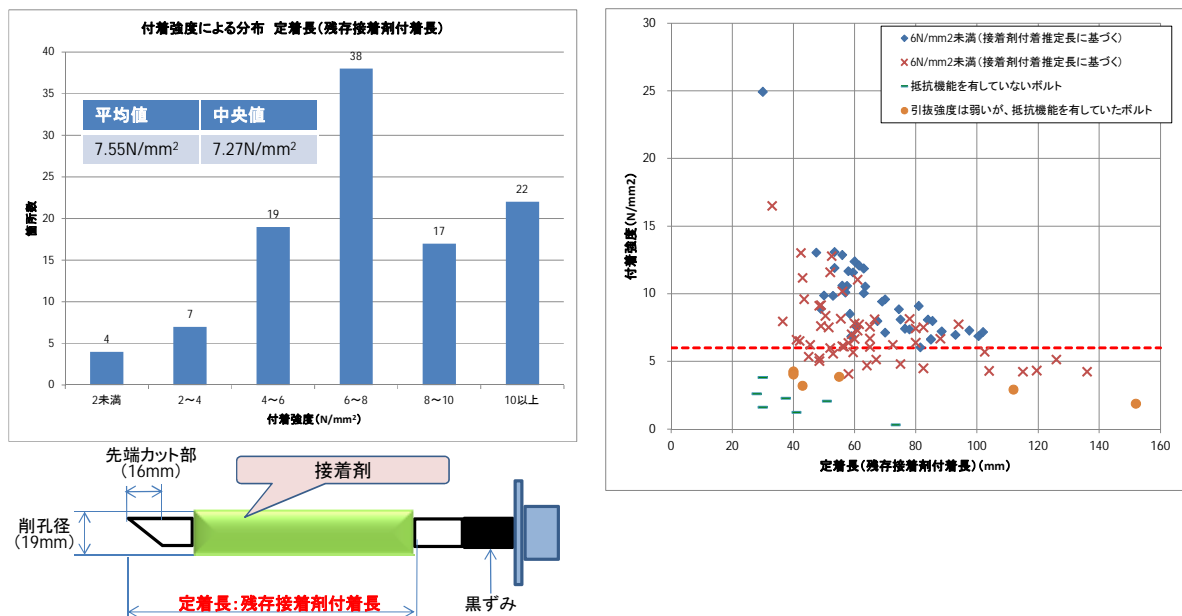


※ 散布図のサンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 の接着系ボルト 6 本を除いた 107 本を対象に集計。

※¹ 2.2.2.7 <<特長>>②固着力 (60~150kg/cm²) を根拠とする

2)定着長を残存接着剤付着長とした場合

- ・付着強度は、6~8N/mm² のレンジが全体の分布で最多
- ・材料承認願に添付された材料パンフレットに示される付着強度 (6N/mm²) 以下のものは約 3 割である。

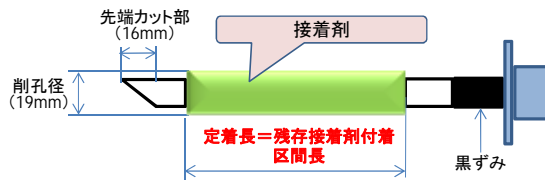
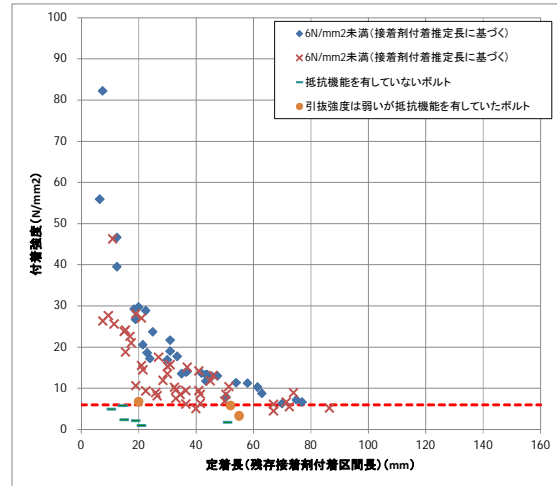
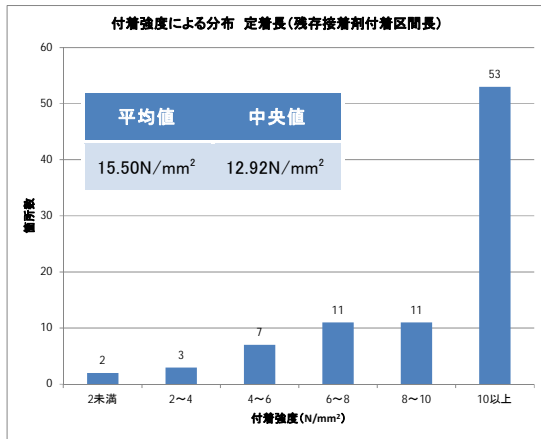


※ 散布図のサンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 の接着系ボルト 6 本を除いた 107 本を対象に集計。

3) 定着長を残存接着剤付着区間長とした場合

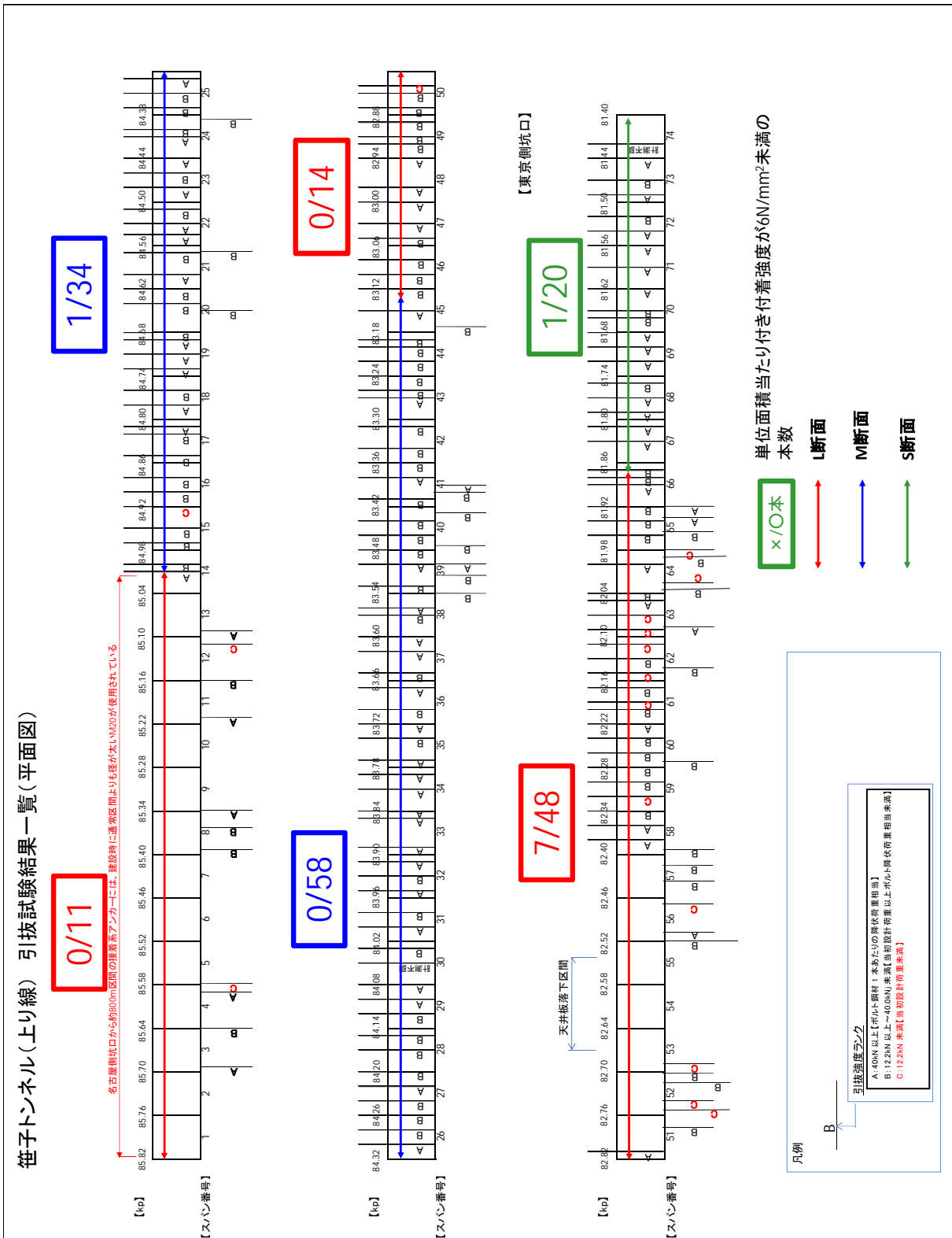
ほとんどの接着系ボルトで、材料承認願に添付された材料パンフレットに示される付着強度の下限値 ($6\text{N}/\text{mm}^2$) を上回る。

一方で、せん断抵抗面積を他の場合と比べて小さく見積もっても $6\text{N}/\text{mm}^2$ を下回るボルトがあり、経年による付着強度の低下の可能性がうかがえる。



※ 散布図のサンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 の接着系ボルト 6 本を除いた 107 本を対象に、残存接着剤付着区間長が認められた 87 本を対象。

(3) 単位面積当たり付着強度の低い接着系ボルトの分布

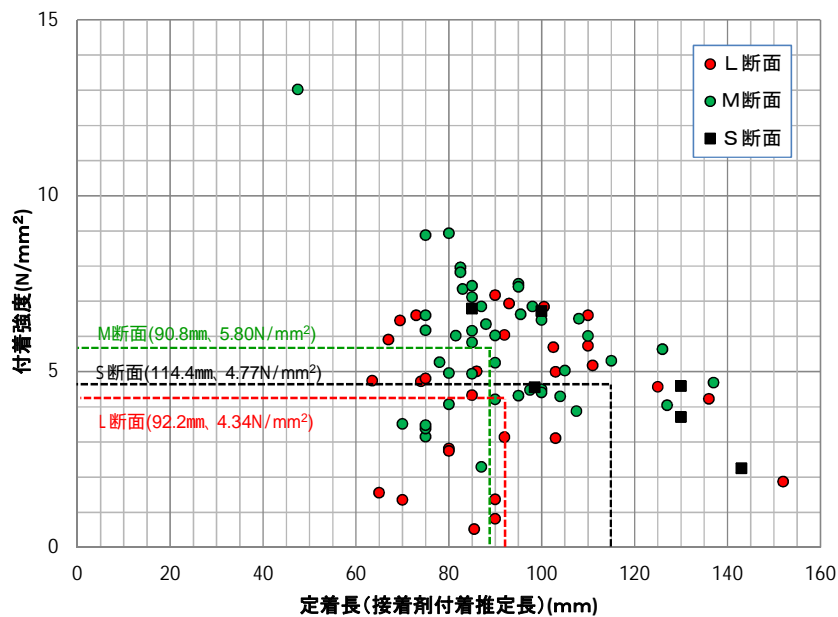


3.6.7.2 ダクト断面別の付着強度と定着長との関係

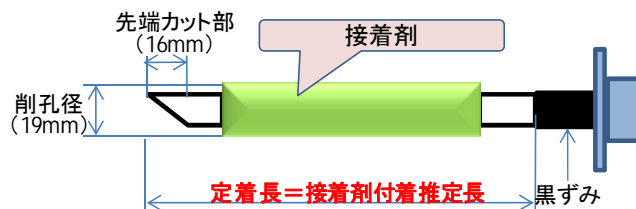
(1) 定着長を接着剤付着推定長とした場合

- ・ L断面の平均付着強度 4.34N/mm^2 は、M・S断面の平均付着強度の $0.74\sim 0.91$ 倍と低い。
- ・ M断面は、L断面に比べ、平均定着長（接着剤付着推定長）は大差ないものの平均付着強度は高い。
- ・ S断面は、平均定着長（接着剤付着推定長）が 114.4mm と長く、平均付着強度自体は高くない。

付着強度と定着長(接着剤付着推定長)のダクト断面の傾向



| | 平均定着長 (接着剤付着推定長) | 平均付着強度 |
|-----|---------------------|---------------------|
| L断面 | 92.2mm | 4.34N/mm^2 |
| M断面 | 90.8mm | 5.80N/mm^2 |
| S断面 | 114.4mm | 4.77N/mm^2 |

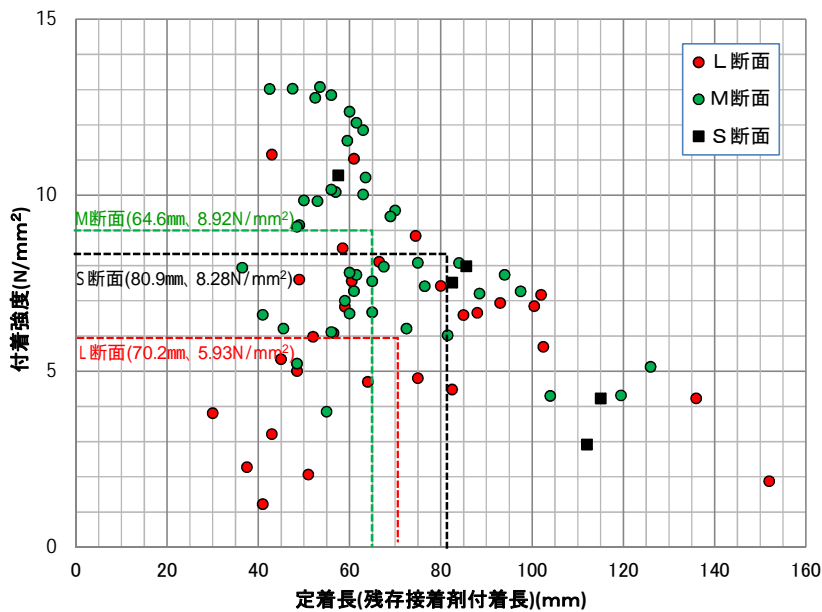


※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

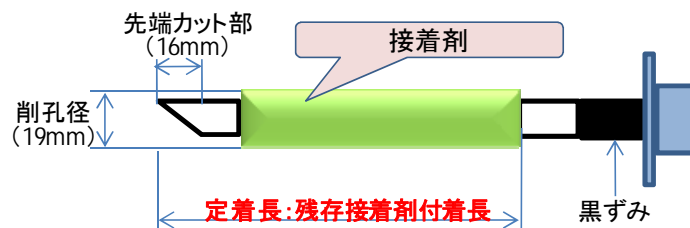
(2) 定着長を残存接着剤付着長とした場合

- ・ L断面の平均付着強度 5.93N/mm^2 は、M・S断面の平均付着強度の約7割と低い。
- ・ M断面は、L断面に比べ平均定着長（残存接着剤付着長）は短いものの、平均付着強度は高い。
- ・ S断面は、平均定着長（残存接着剤付着長）が 80.9mm と長く、平均付着強度はそれ程高くない。

付着強度と定着長(残存接着剤付着長)のダクト断面の傾向



| | 平均定着長 (残存接着剤付着長) | 平均付着強度 |
|-----|---------------------|---------------------|
| L断面 | 70.2mm | 5.93N/mm^2 |
| M断面 | 64.6mm | 8.92N/mm^2 |
| S断面 | 80.9mm | 8.28N/mm^2 |

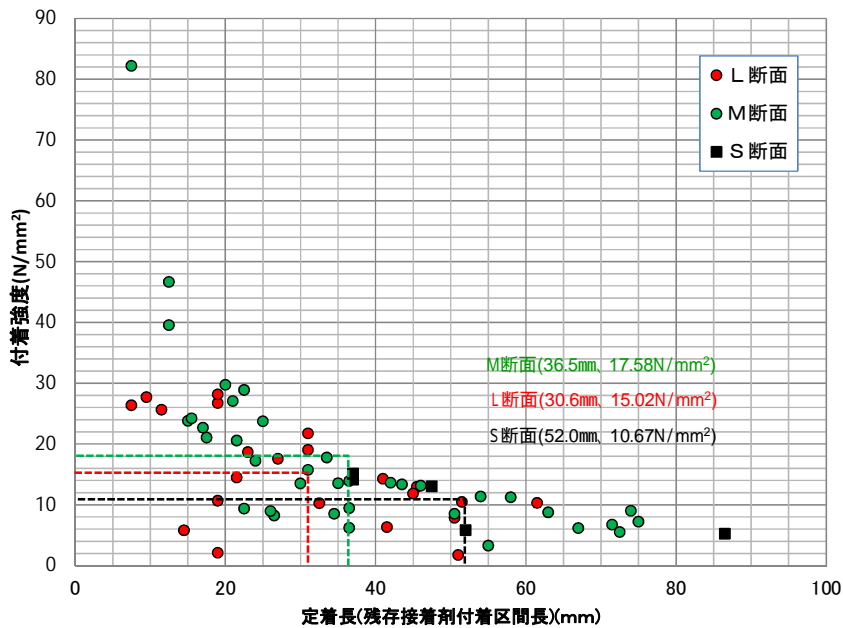


※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

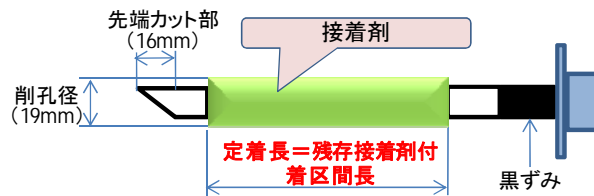
(3) 定着長を残存接着剤付着区間長とした場合

- ・ L断面の平均定着長（残存接着剤付着区間長）は 30.6 mmであり、M・S断面より小さい。
- ・ S断面は、平均定着長（残存接着剤付着区間長）が 52.0mm と長いが平均付着強度は L・M断面より低い。
- ・ 材料承認願に添付されたカタログの付着強度の下限値 6.0N/mm² を下回る接着系ボルトも存在する。

付着強度と定着長のダクト断面の傾向



| | 平均定着長 (残存接着剤付着区間長) | 平均付着強度 |
|-----|-----------------------|------------------------|
| L断面 | 30.6mm | 15.02N/mm ² |
| M断面 | 36.5mm | 17.58N/mm ² |
| S断面 | 52.0mm | 10.67N/mm ² |

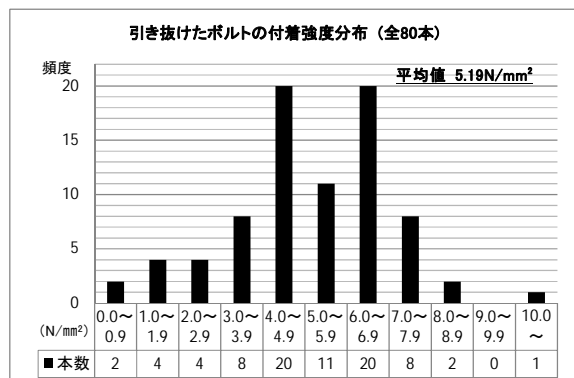
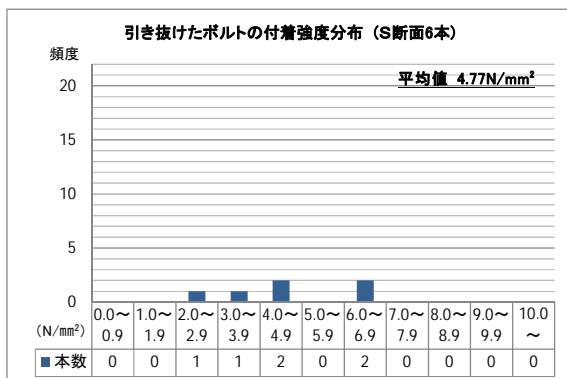
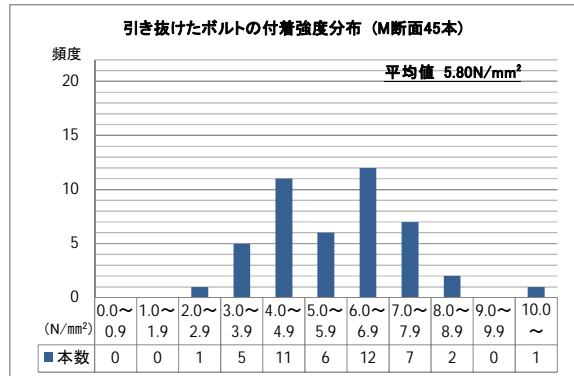
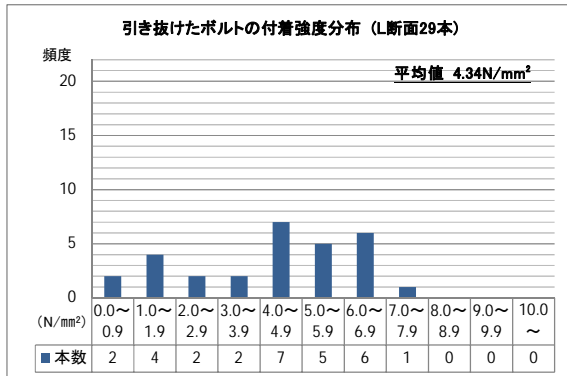


※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本でかつ接着剤の残存が認められた64本を対象とした。

3.6.7.3 ダクト断面別の接着系ボルトの付着強度の分析

(1) 定着長を接着剤付着推定長とした場合の関係

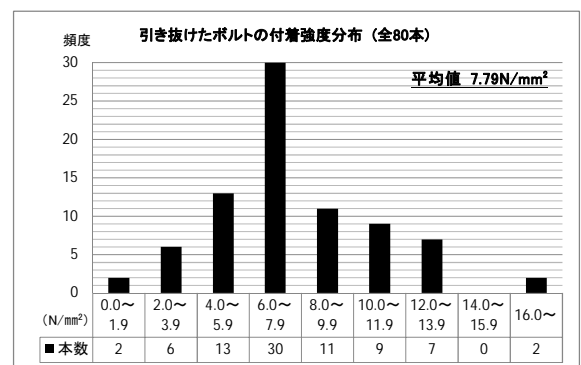
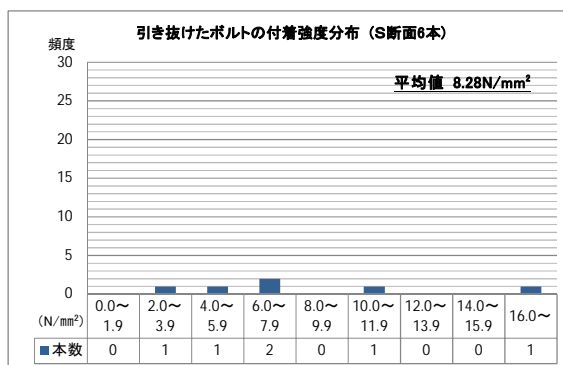
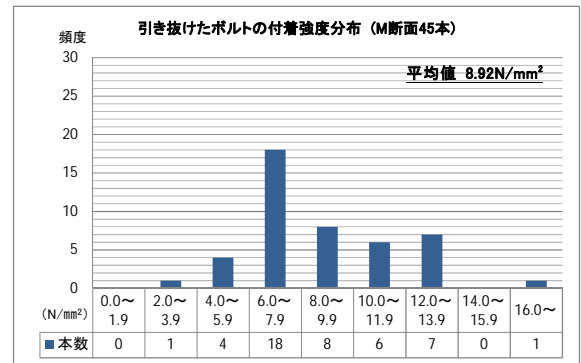
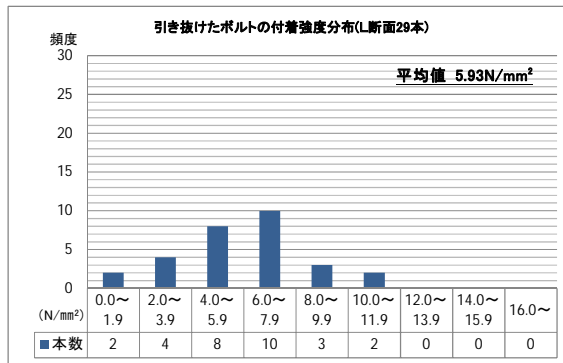
- ・ 全接着系ボルトの付着強度は平均値で約 5.2N/mm^2 であり、材料承認願に添付された材料パンフレット最小値の 6.0N/mm^2 を下回っている。
- ・ 付着強度は、およそ $4\sim 7\text{N/mm}^2$ にピークが見られる。
- ・ L断面の接着系ボルトは、付着強度の低い方向に分散し、M断面に比べ平均値で約 1.5N/mm^2 下回る。



※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

(2) 定着長を残存接着剤付着長とした場合

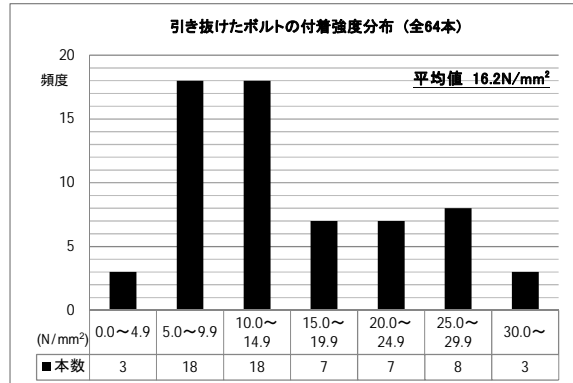
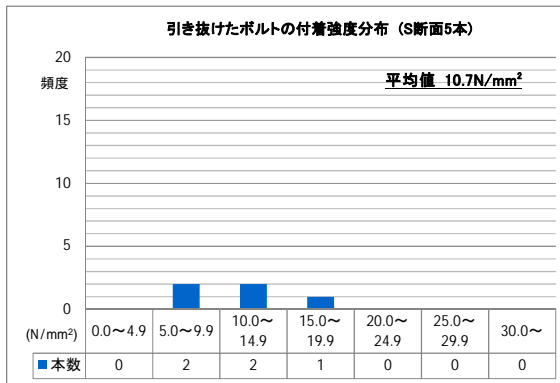
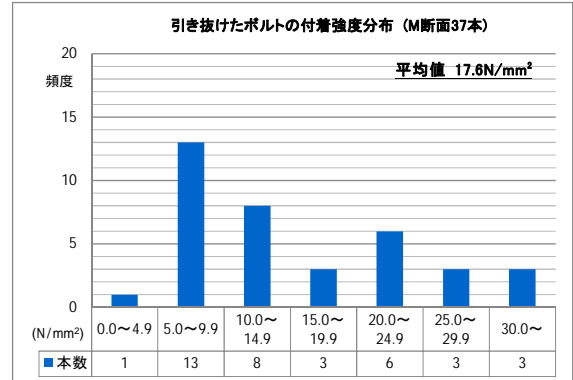
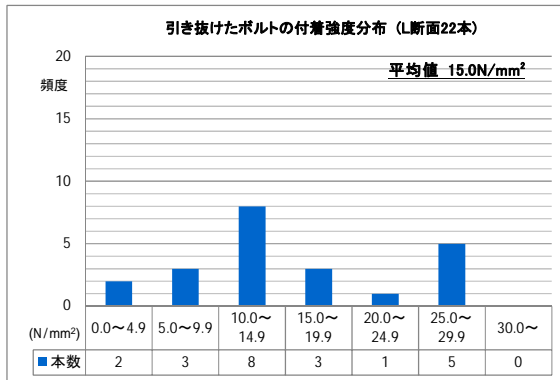
- ・ 全接着系ボルトの付着強度は平均値で約 7.8N/mm^2 であり、設計に用いられた付着強度 8.0N/mm^2 (3.3.1.7 (3) 「付着力のチェック」参照) に近い。
- ・ 付着強度は、およそ $6\sim 8\text{N/mm}^2$ にピークが見られる。
- ・ L断面の接着系ボルトは、付着強度の低い方向に分散し、全平均値より付着強度が約 2.0N/mm^2 下回る。



※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

(3) 定着長を残存接着剤付着区間長とした場合

- ・ 全接着系ボルトの付着強度は平均値で約 16.2N/mm^2 であり、設計に用いた付着強度 8.0N/mm^2 の2倍である。
- ・ 付着強度は、およそ $5\sim 15\text{N/mm}^2$ にピークが見られる。
- ・ L断面では、付着強度が 5.0N/mm^2 未満の接着系ボルトがみられる。



※ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本でかつ接着剤の付着が認められた64本を対象とした。

3.6.8 引抜試験結果と外観項目・環境項目による分析

3.6.8.1 相関分析実施項目

(1) 集計項目

引抜試験と引抜試験時に観察された各項目から、各項目が引抜強度に影響を及ぼしているか分析を行った。集計項目を以下に示す。

| 試験区分 | 項目名 |
|------------------------------|----------------------------------|
| 接着系ボルト近傍 覆工コンクリート外観 観察 | ひびわれの有無 |
| | 漏水の有無 |
| | 遊離石灰の有無 |
| 引抜試験 後観察 | 接着系ボルト偏心・傾斜有無 |
| | 接着系ボルト錆有無 (引き抜いた接着系ボルトを対象) |
| | 接着系ボルト孔内錆有無 (引き抜いた接着系ボルトを対象) |
| | 接着系ボルト孔内水分有無 (引き抜いた接着系ボルトを対象) |
| 内視鏡観察 | 接着系ボルト孔内錆有無 (引き抜いた接着系ボルトを対象) |

引抜強度と各項目に相関関係があるかを「ピアソンの積率相関係数 (r)」により算出した。

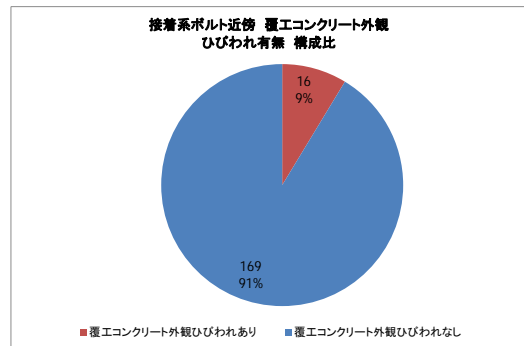
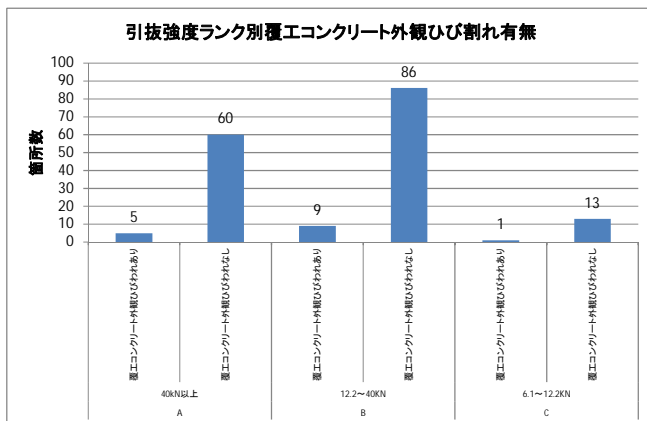
$$r = \frac{\text{変数 X と変数 Y の共分散}}{\text{変数 X の標準偏差} \times \text{変数 Y の標準偏差}}$$

(2) 定着長の定義

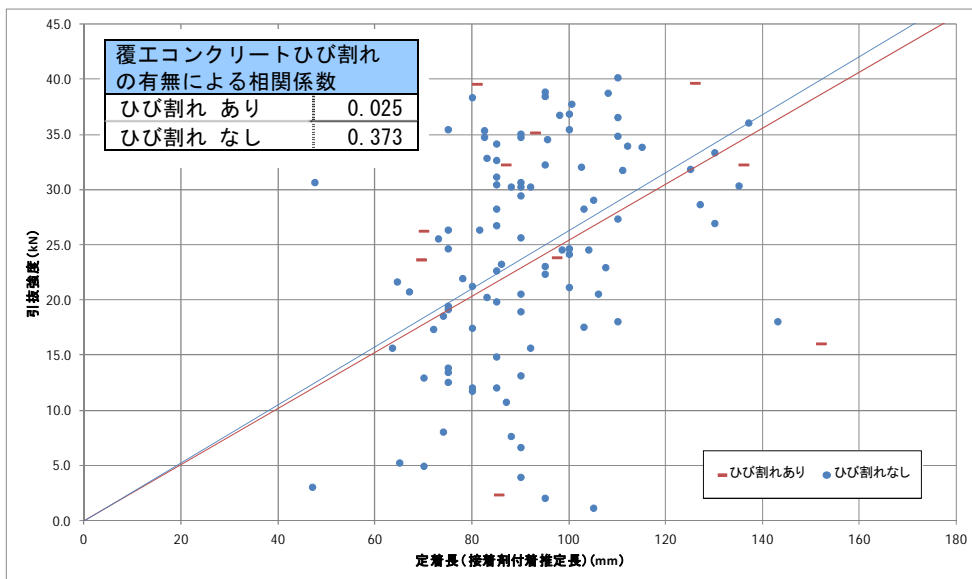
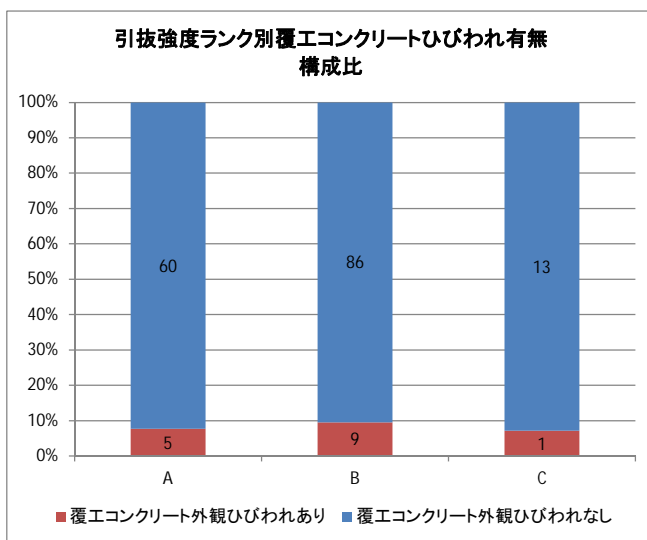
黒ずみなしと測定された区間の長さ（接着剤付着推定長）からボルト先端カット部の長さ（16mm）を減じたもの

3.6.8.2 相関分析結果

(1) 接着系ボルト近傍覆工コンクリート外観「ひびわれの有無」

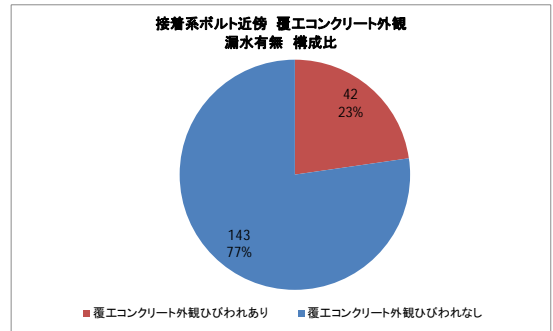
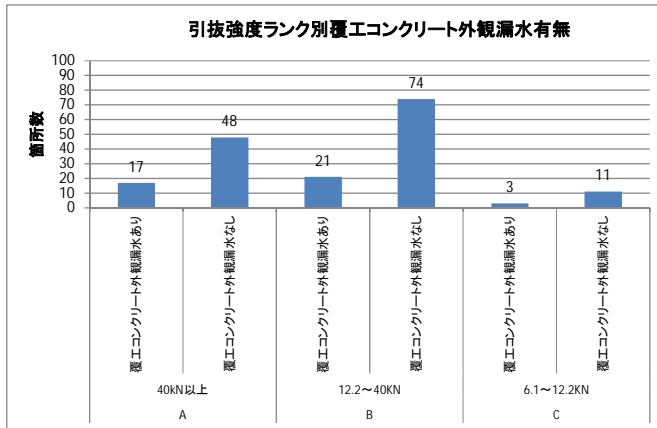


| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 |
|----|------------------|-----|-------|
| A | 40kN~ | 5 | 7.7% |
| | 覆工コンクリート外観ひび割れなし | 60 | 92.3% |
| B | 12.2~40kN | 9 | 9.5% |
| | 覆工コンクリート外観ひび割れなし | 86 | 90.5% |
| C | ~12.2kN | 1 | 7.1% |
| | 覆工コンクリート外観ひび割れなし | 13 | 92.9% |

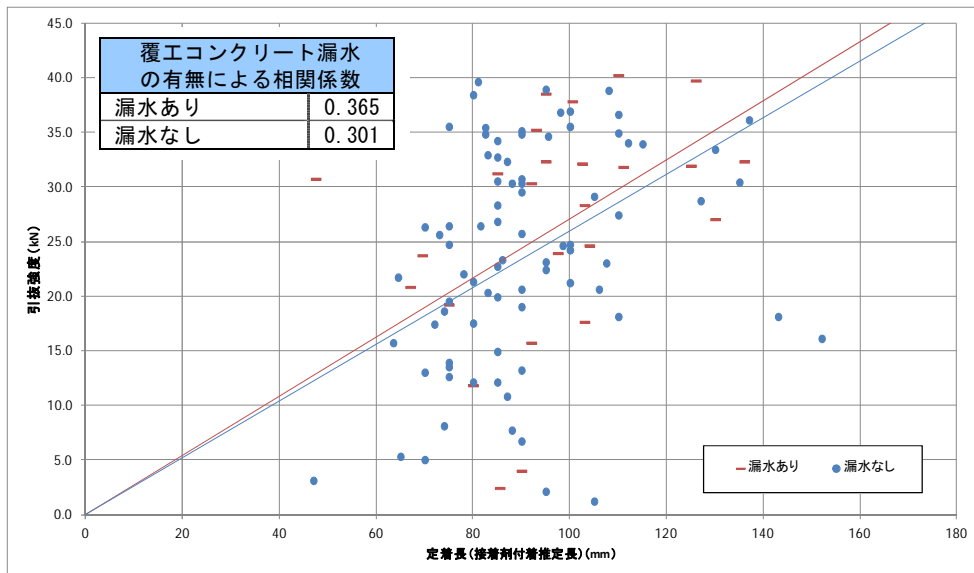
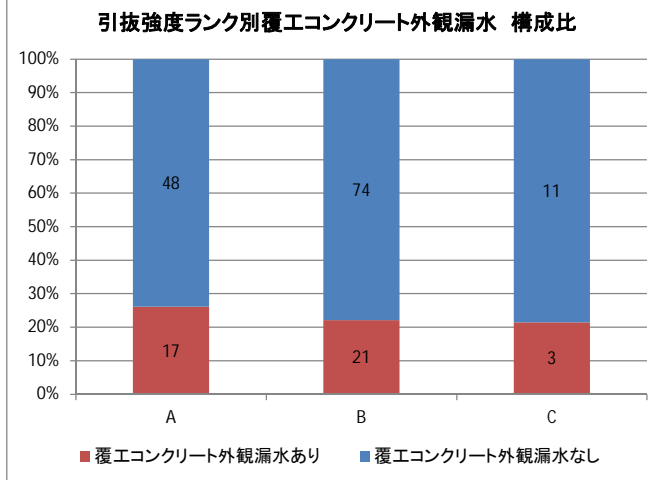


※対象サンプル数：全体 185 箇所から M20 の接着系ボルト 11 本を除いた 174 本を対象。
 散布図は引き抜けた 107 本を対象。

(2) 接着系ボルト近傍覆工コンクリート外観「漏水の有無」

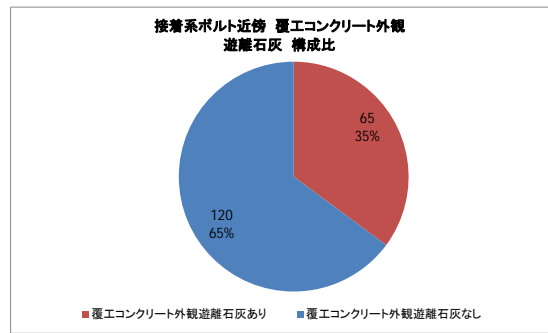
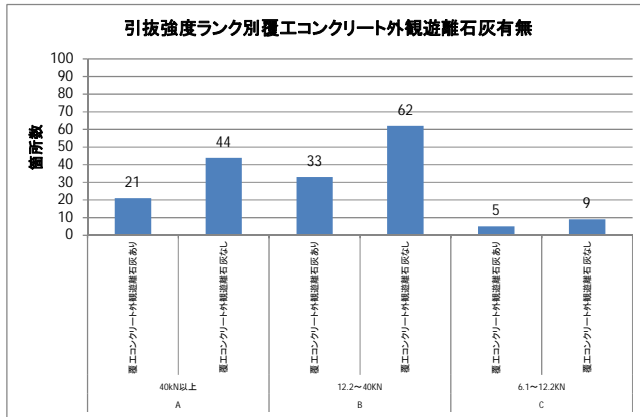


| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 |
|----|----------------|-----|-------|
| A | 40kN~ | 17 | 26.2% |
| | 覆工コンクリート外観漏水なし | 48 | 73.8% |
| B | 12.2~40kN | 21 | 22.1% |
| | 覆工コンクリート外観漏水なし | 74 | 77.9% |
| C | ~12.2kN | 3 | 21.4% |
| | 覆工コンクリート外観漏水なし | 11 | 78.6% |

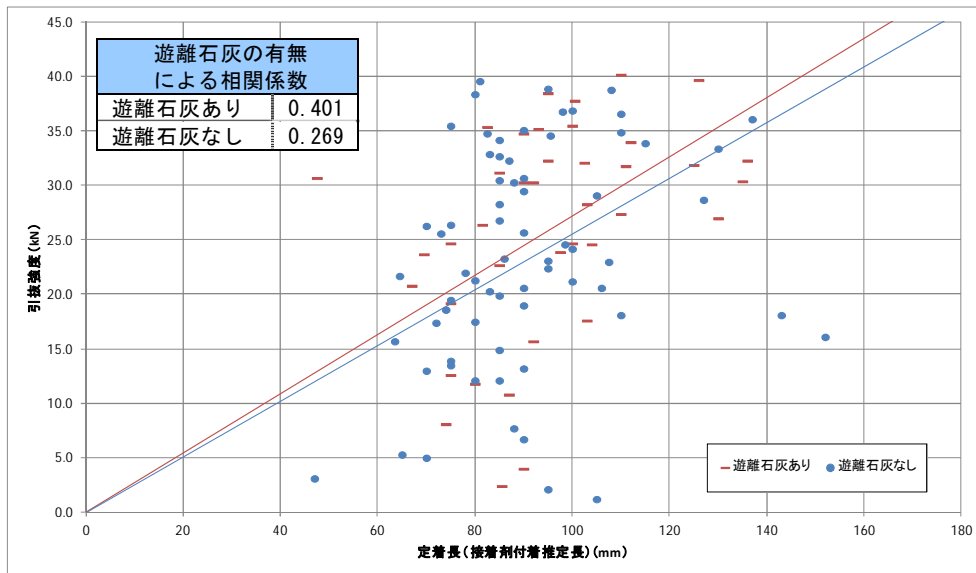
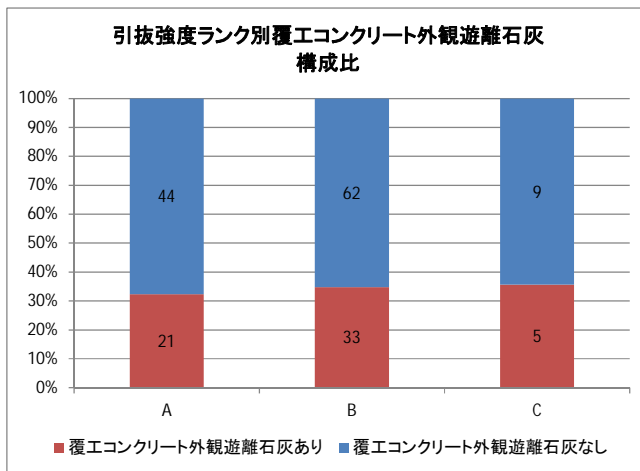


※対象サンプル数：全体 185 箇所から M20 の接着系ボルト 11 本を除いた 174 本を対象。
 散布図は引き抜けた 107 本を対象。

(3) 接着系ボルト近傍覆工コンクリート外観「遊離石灰の有無」

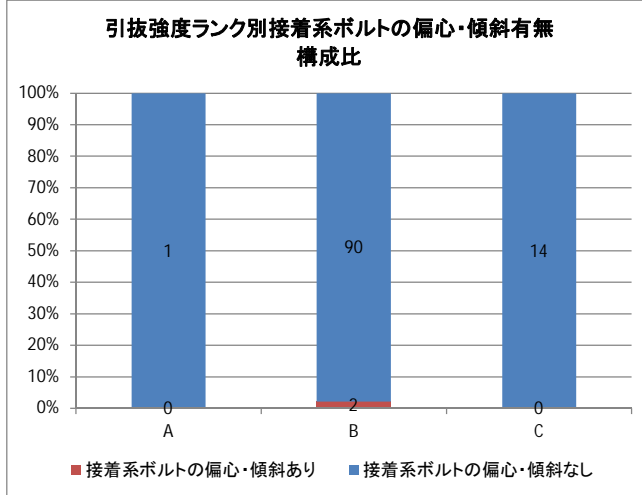
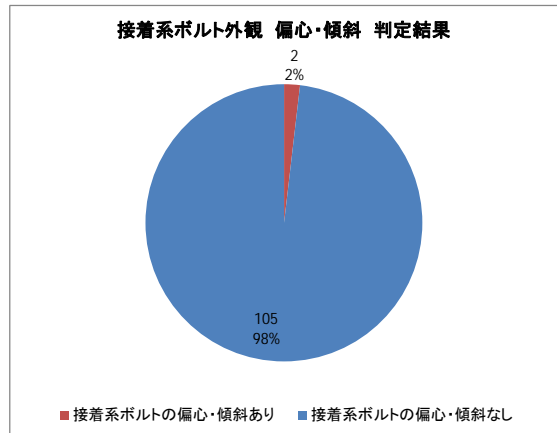
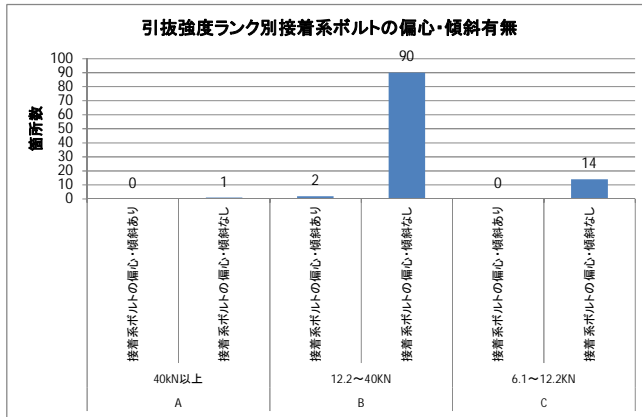


| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 |
|----|----------------------------|-----|-------|
| A | 40kN~ 覆工コンクリート外観遊離石灰あり | 21 | 32.3% |
| | 覆工コンクリート外観遊離石灰なし | 44 | 67.7% |
| B | 12.2~40kN 覆工コンクリート外観遊離石灰あり | 33 | 34.7% |
| | 覆工コンクリート外観遊離石灰なし | 62 | 65.3% |
| C | ~12.2kN 覆工コンクリート外観遊離石灰あり | 5 | 35.7% |
| | 覆工コンクリート外観遊離石灰なし | 9 | 64.3% |

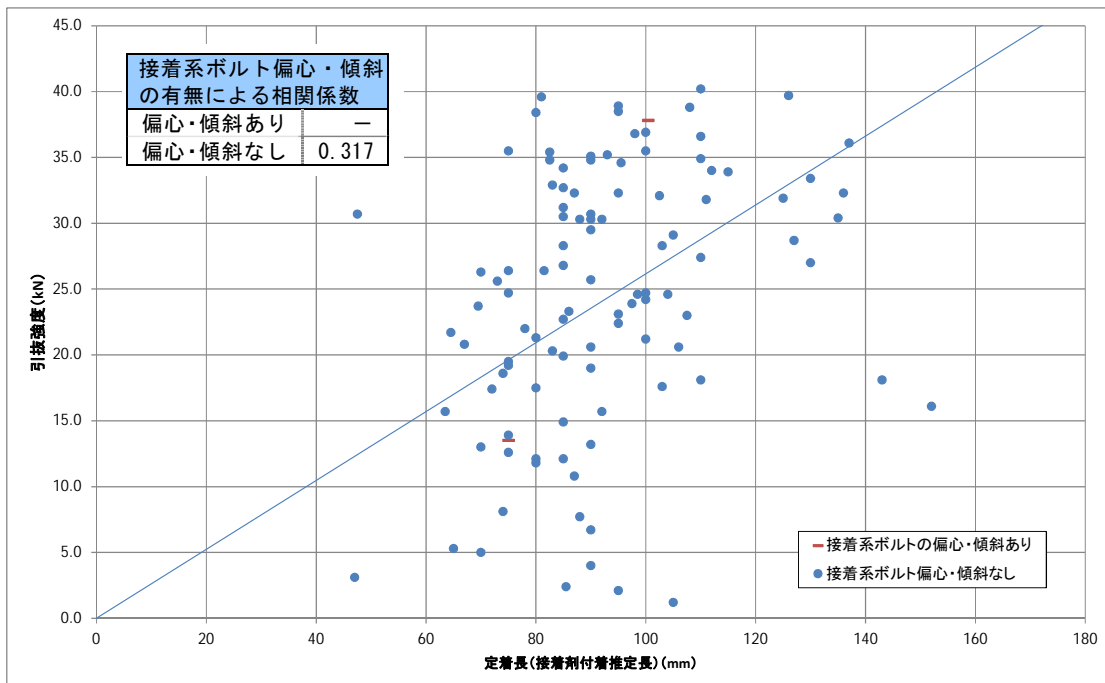


※対象サンプル数: 全体 185 箇所から M20 の接着系ボルト 11 本を除いた 174 本を対象。散布図は引き抜けた 107 本を対象。

(4) 接着系ボルト外観・「接着系ボルトの偏心・傾斜の有無」



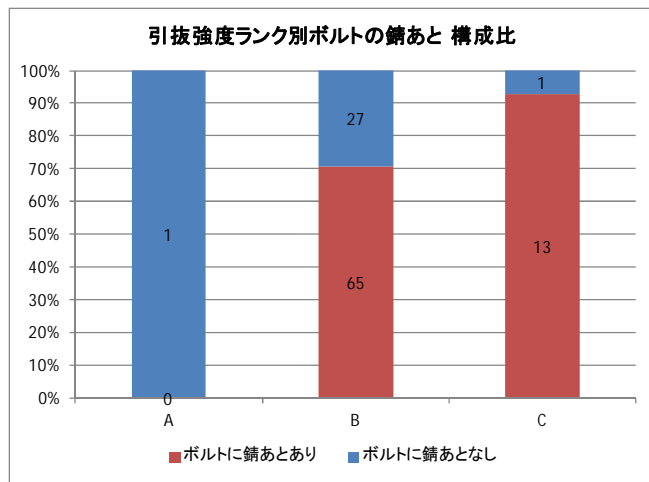
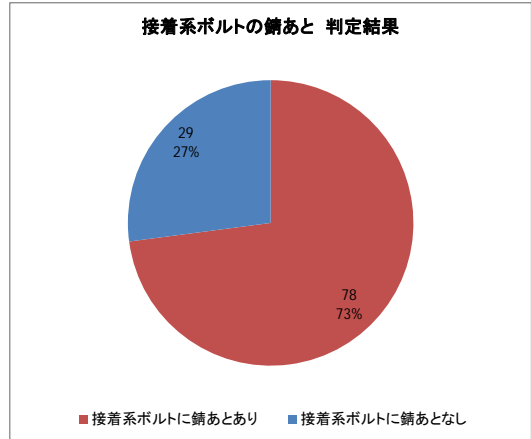
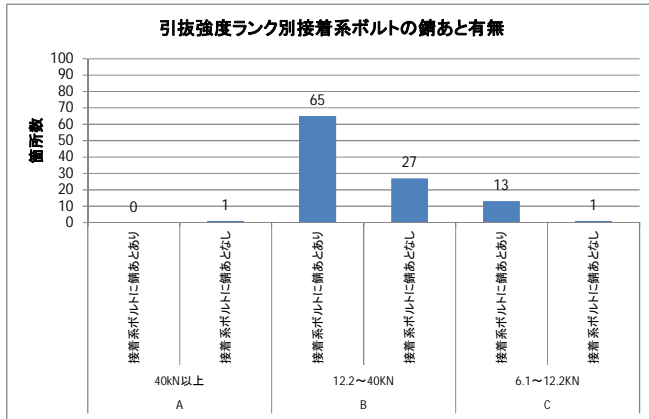
| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 |
|----|----------------|-----|--------|
| A | 接着系ボルトの偏心・傾斜あり | 0 | 0.0% |
| | 接着系ボルトの偏心・傾斜なし | 1 | 100.0% |
| B | 接着系ボルトの偏心・傾斜あり | 2 | 2.2% |
| | 接着系ボルトの偏心・傾斜なし | 90 | 97.8% |
| C | 接着系ボルトの偏心・傾斜あり | 0 | 0.0% |
| | 接着系ボルトの偏心・傾斜なし | 14 | 100.0% |



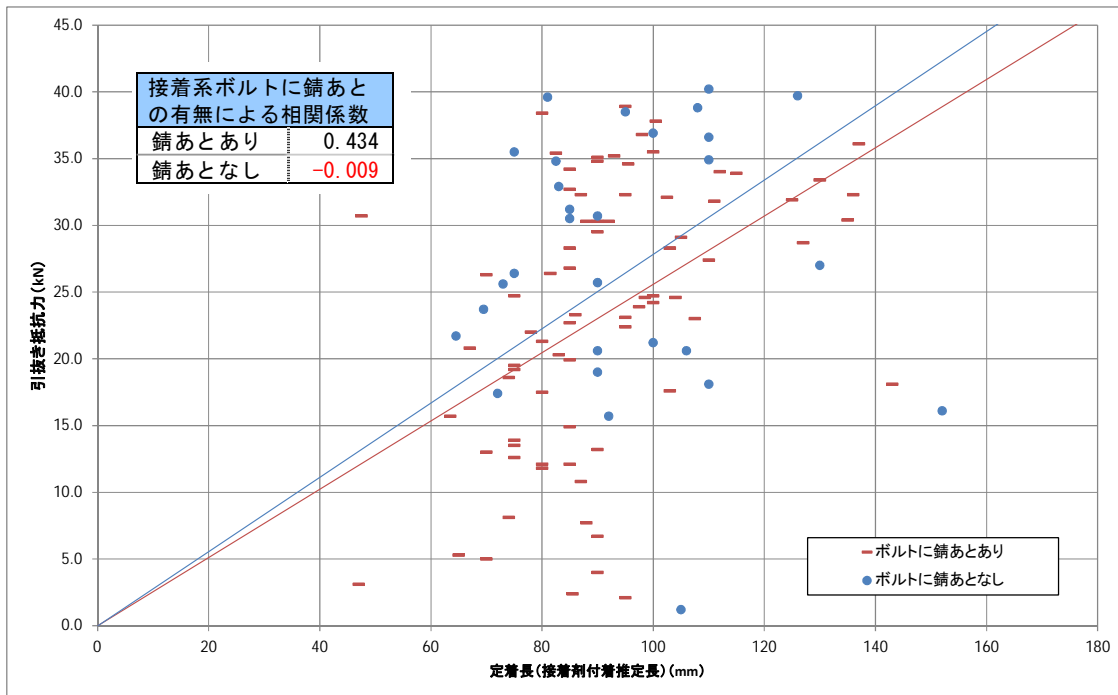
※対象サンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 の接着系ボルト 6 本を除いた 107 本を対象。

(5)接着系ボルト外観・「接着系ボルトの錆あとの有無」※

※引き抜けたボルトの観察による接着系ボルト錆あとの有無



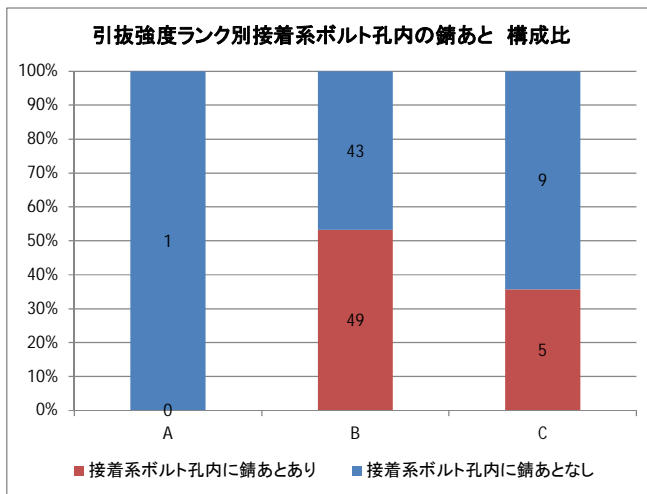
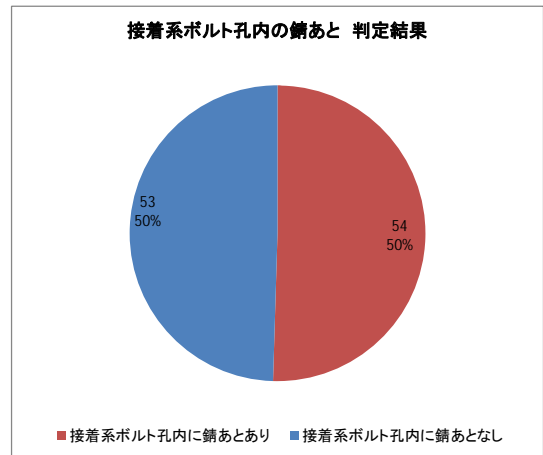
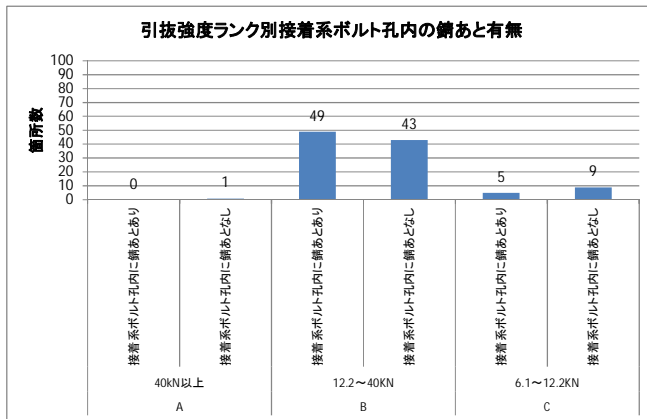
| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 | |
|----|-----------|------------|-----|--------|
| A | 40kN~ | 接着系ボルトに錆あり | 0 | 0.0% |
| | | 接着系ボルトに錆なし | 1 | 100.0% |
| B | 12.2~40kN | 接着系ボルトに錆あり | 65 | 70.7% |
| | | 接着系ボルトに錆なし | 27 | 29.3% |
| C | ~12.2kN | 接着系ボルトに錆あり | 13 | 92.9% |
| | | 接着系ボルトに錆なし | 1 | 7.1% |



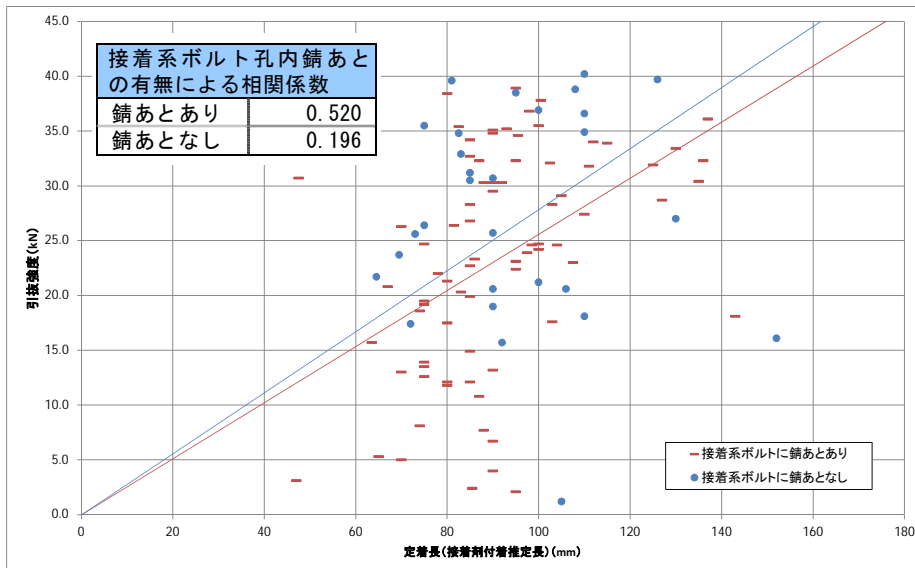
対象サンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 の接着系ボルト 6 本を除いた 107 本を対象。

(6) 接着系ボルト孔内外観 「接着系ボルト孔内錆あとの有無」*

※引抜試験時の接着系ボルト孔内の目視による接着系ボルト孔内錆あとの有無



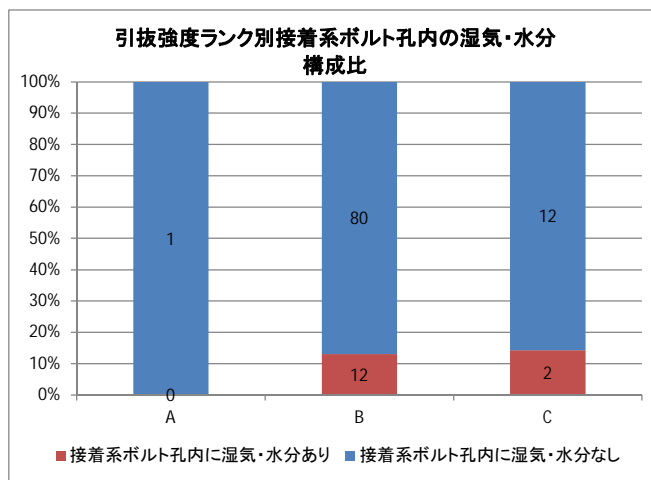
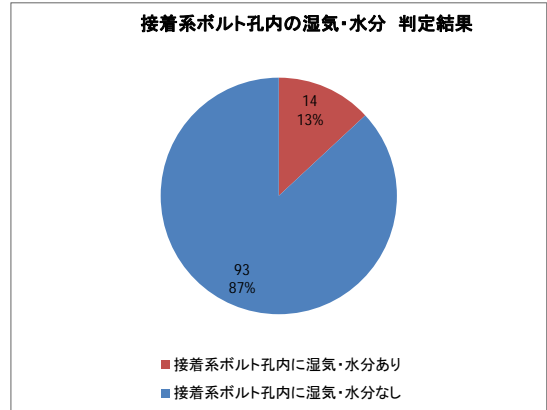
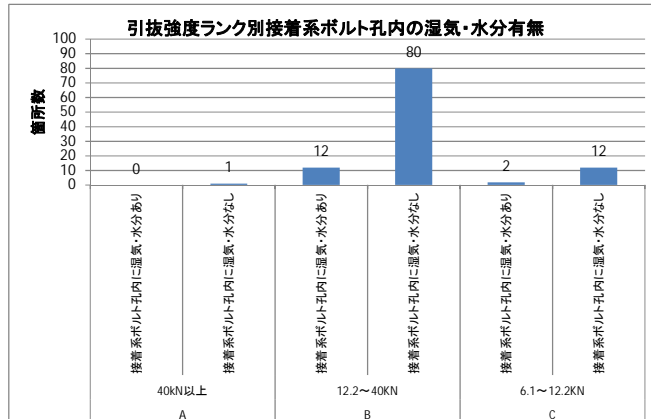
| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 |
|--------------------|----------------|-----|--------|
| A 40kN~ | 接着系ボルト孔内に錆あとあり | 0 | 0.0% |
| | 接着系ボルト孔内に錆あとなし | 1 | 100.0% |
| B 12.2~ 40kN | 接着系ボルト孔内に錆あとあり | 49 | 53.3% |
| | 接着系ボルト孔内に錆あとなし | 43 | 46.7% |
| C ~12.2kN | 接着系ボルト孔内に錆あとあり | 5 | 35.7% |
| | 接着系ボルト孔内に錆あとなし | 9 | 64.3% |



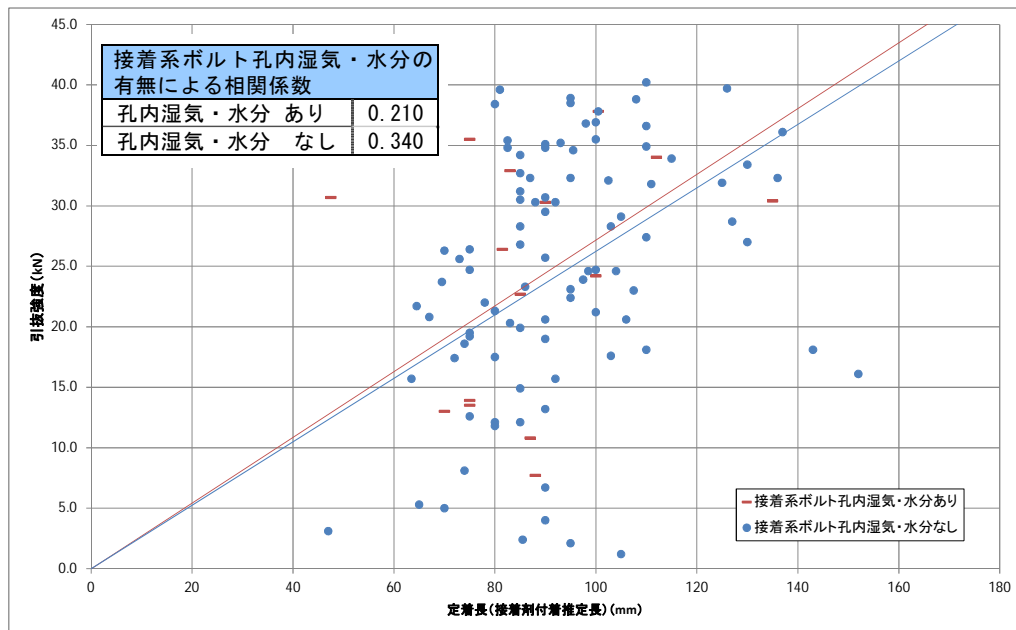
※対象サンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 の接着系ボルト 6 本を除いた 107 本を対象。

(7)接着系ボルト孔内外観「接着系ボルト孔内湿気・水分の有無」

※引抜試験時の接着系ボルト孔内の目視による孔内湿気・水分の有無

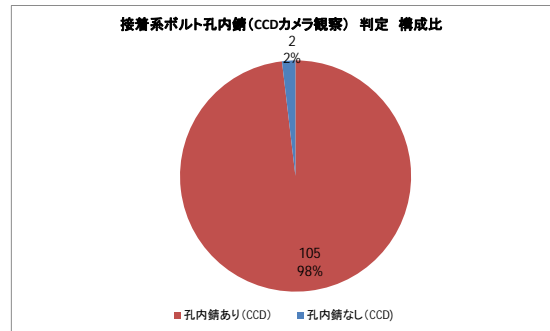
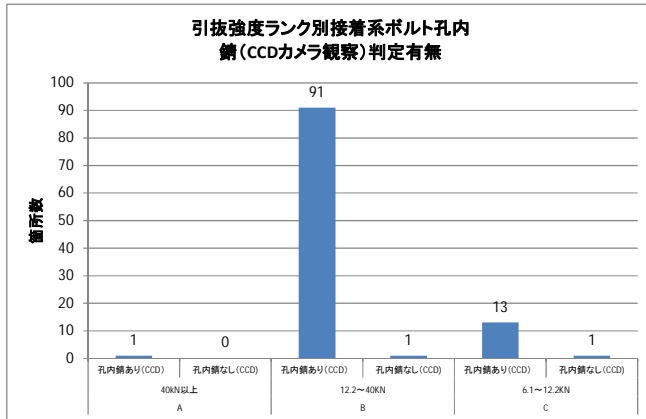


| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 |
|-------------|---------------|-----|--------|
| A 40kN~ | ボルト孔内に湿気・水分あり | 0 | 0.0% |
| | ボルト孔内に湿気・水分なし | 1 | 100.0% |
| B 12.2~40kN | ボルト孔内に湿気・水分あり | 12 | 13.0% |
| | ボルト孔内に湿気・水分なし | 80 | 87.0% |
| C ~12.2kN | ボルト孔内に湿気・水分あり | 2 | 14.3% |
| | ボルト孔内に湿気・水分なし | 12 | 85.7% |

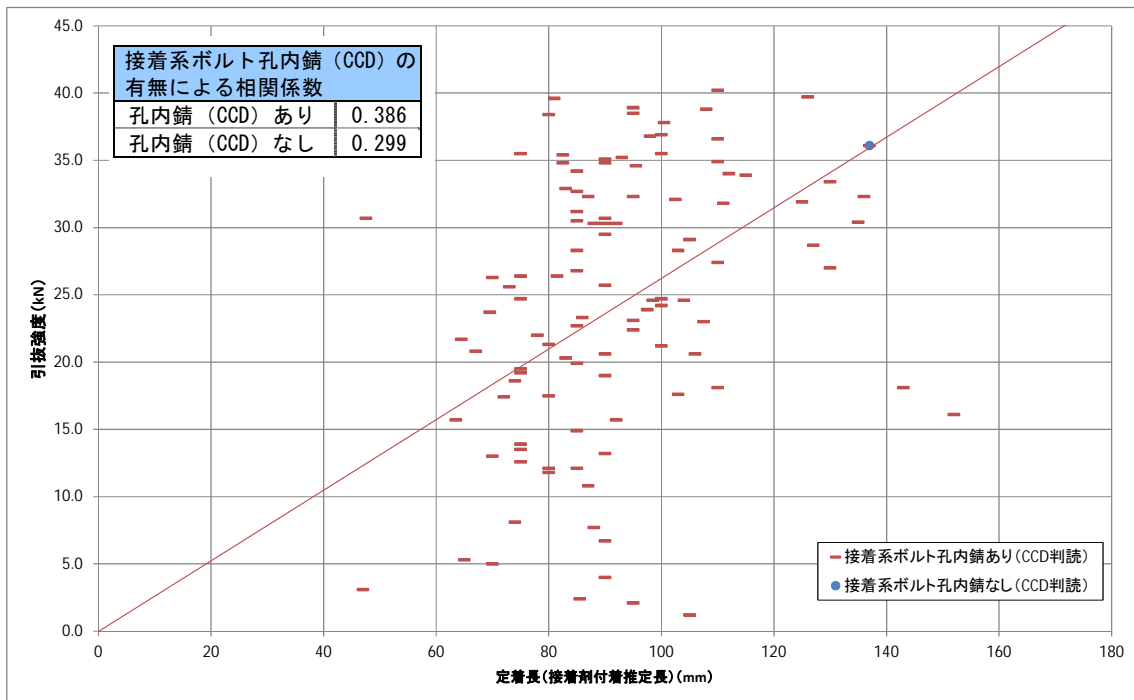
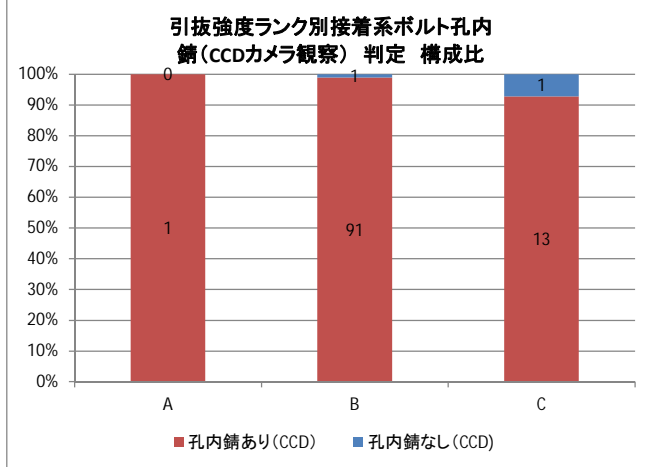


※対象サンプル数：引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 ボルト 6 本を除いた 107 本を対象。

(8)接着系ボルト孔内内視鏡観察(CCDカメラ観察)「 CCDカメラによる接着系ボルト孔内錆の有無」



| 評価 | 分類 | 箇所数 | 構成比 |
|----|------------|-----|--------|
| A | 40kN~ | 1 | 100.0% |
| | 孔内錆なし(CCD) | 0 | 0.0% |
| B | 12.2~40kN | 91 | 98.9% |
| | 孔内錆なし(CCD) | 1 | 1.1% |
| C | ~12.2kN | 13 | 92.9% |
| | 孔内錆なし(CCD) | 1 | 7.1% |

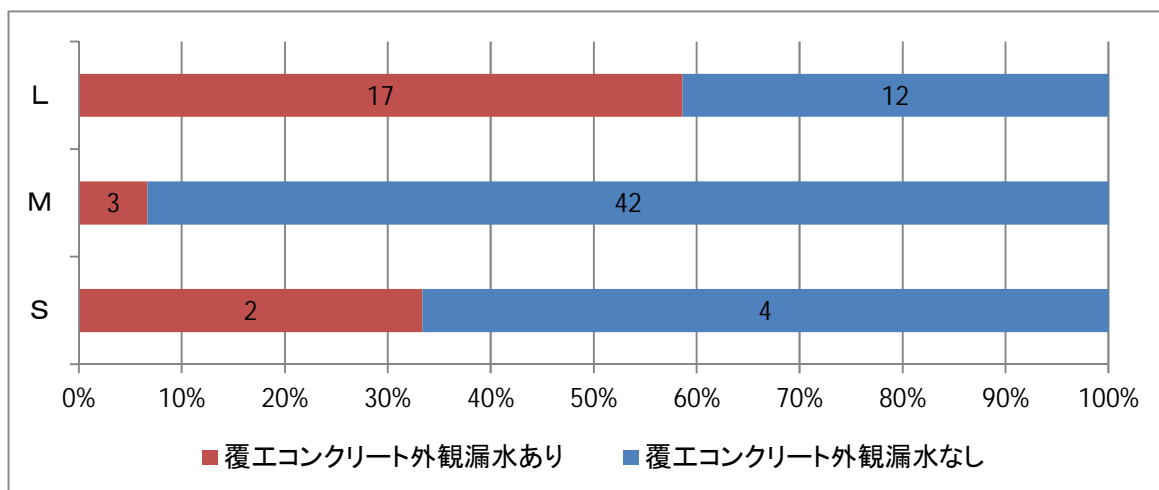
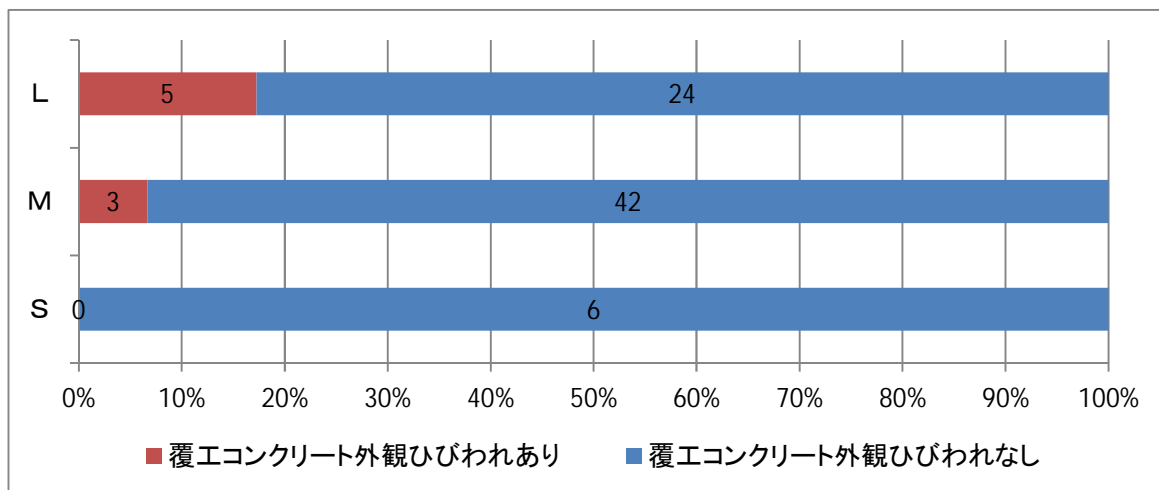


※対象サンプル数: 引抜試験で引き抜けた 113 本から、M20 ボルト 6 本を除いた 107 本を対象。

3.6.8.3 ダクト断面別の接着系ボルト近傍覆工コンクリート外観

(1)「ひびわれの有無」、「漏水の有無」

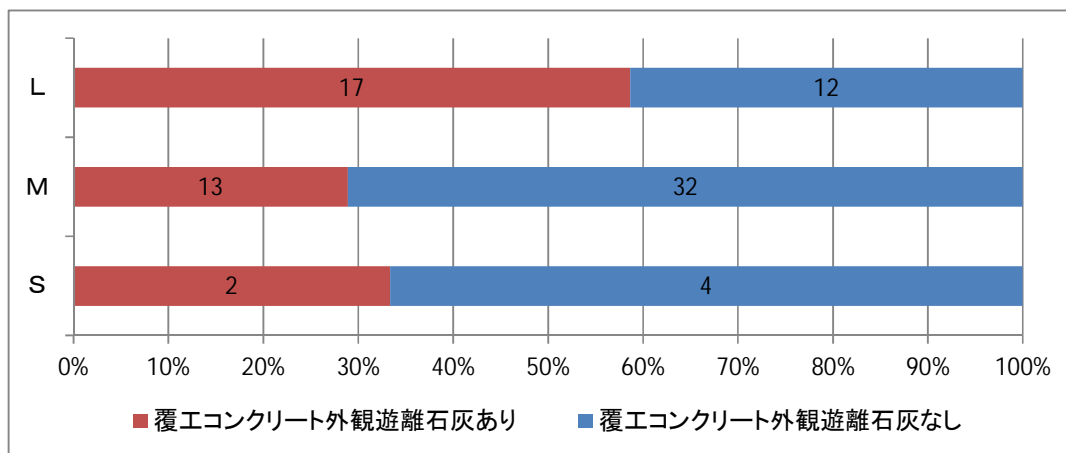
- ・覆工コンクリートの外観でひびわれがあるのは、L断面の方が多くみられた。
- ・覆工コンクリートの外観で漏水の有無は、L断面で最も多く、S断面でも割合が高い。



※ ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

(2)遊離石灰の有無

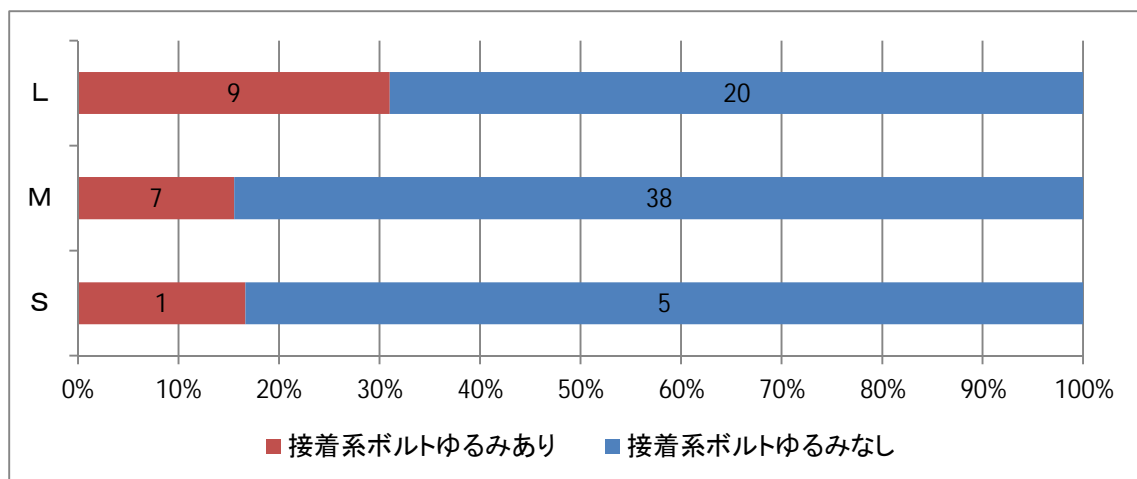
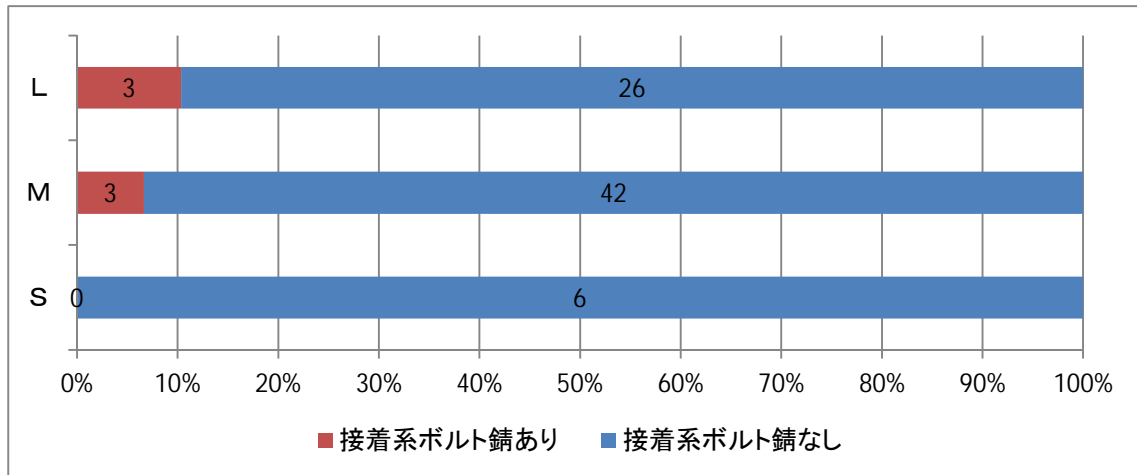
- ・ 覆エコンクリートの外観で遊離石灰の有無は、L断面で約6割と高く、S・M断面では約3割であった。



※ ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

(3)打音試験前の接着系ボルト錆の有無、打音試験時の接着系ボルトのゆるみの有無

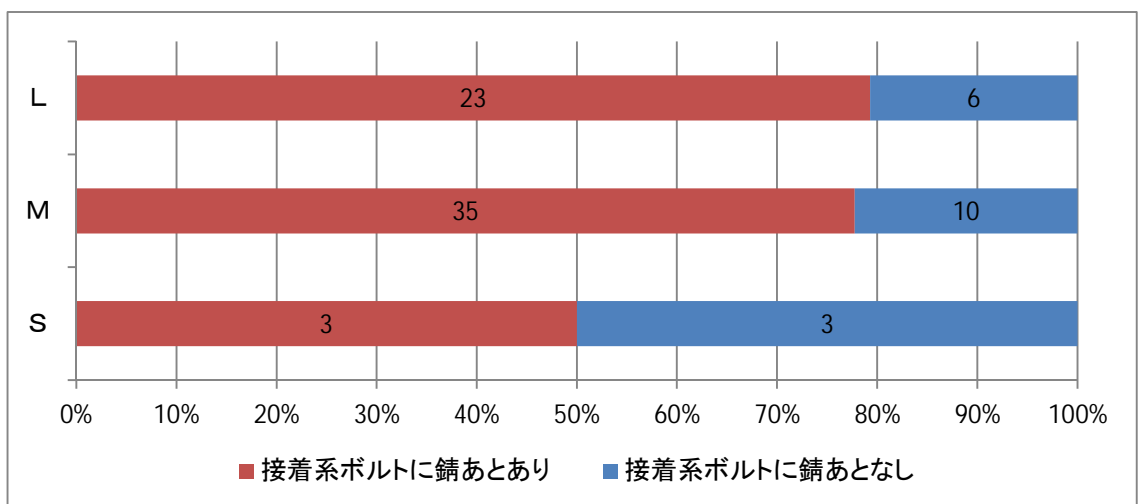
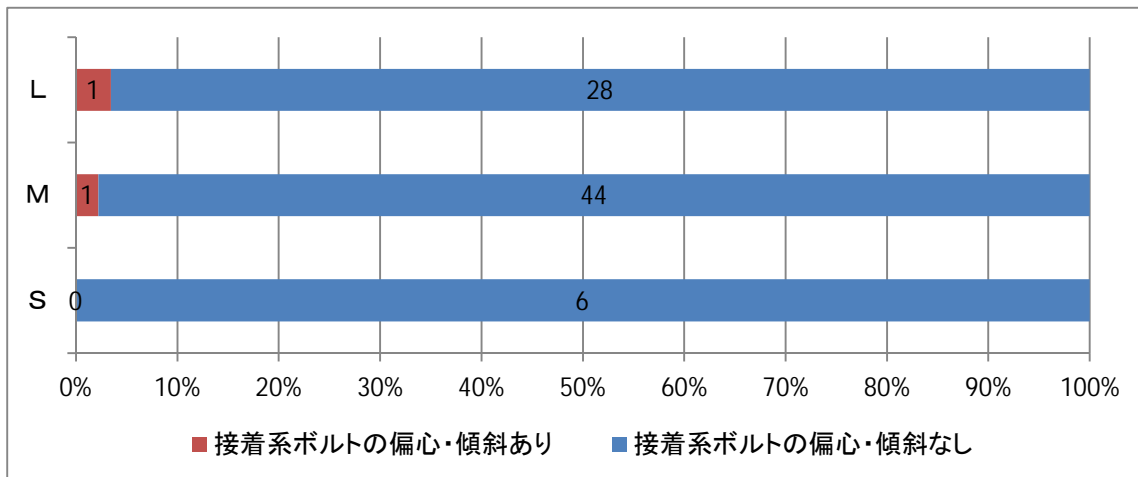
- ・打音試験前の接着系ボルト錆の有無は、L断面とM断面でみられたが、割合は1割程度である。
- ・打音試験時の接着系ボルトのゆるみの有無は、L断面での割合が高く3割程度である。S・M断面ではやや低く2割未満である。



※ ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

(4)接着系ボルトの偏心・傾斜の有無、接着系ボルトの錆あとの有無

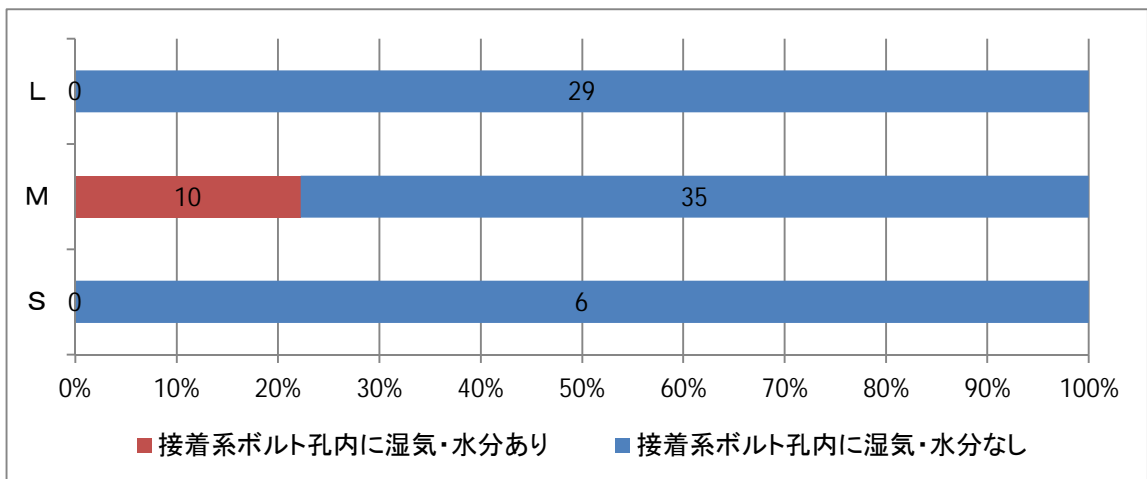
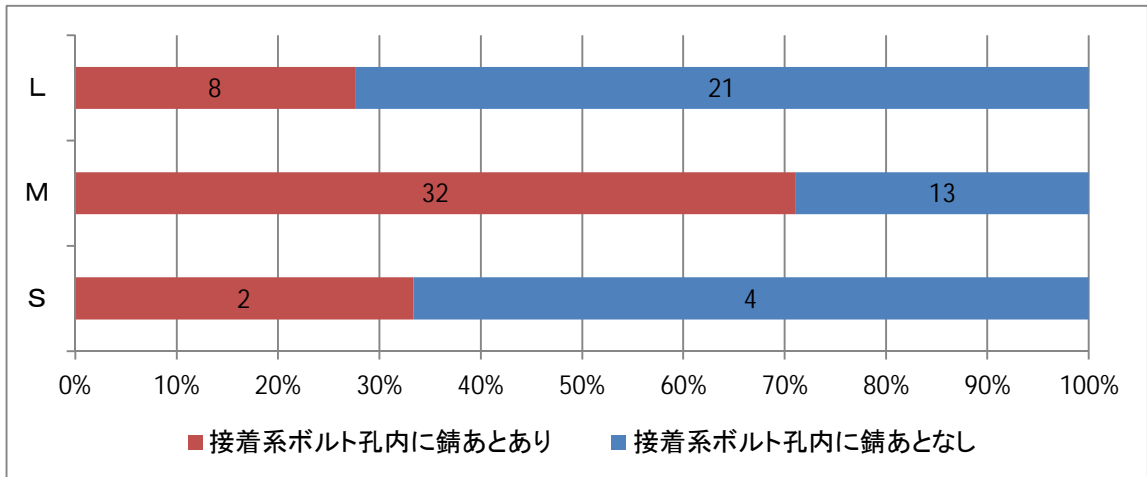
- ・接着系ボルトの偏心・傾斜の有無は、ほとんど見られなかった。
- ・引き抜けた接着系ボルトの錆あとの有無は、M断面及びL断面で同様の割合で約8割で錆がみられたが、S断面では約5割であった。



※ ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

(5)接着系ボルト孔内錆あとの有無、接着系ボルト孔内湿気・水分の有無

- ・接着系ボルト孔内錆あとの有無は、M断面で約7割と最も高く、S・L断面では約3割であった。
- ・接着系ボルト孔内湿気・水分の有無は、M断面のみで、約2割の接着系ボルト孔内に湿気・水分がみられた。



※ ランダムサンプリングにより引抜試験を行ったM16の接着系ボルト141本のうち、引き抜けた80本を対象とした。

3.6.8.4 まとめ

| 着目した事象 | 引抜強度との関係 | ダクト断面別の傾向 |
|---------------|------------------|--------------------------------------|
| 覆工コンクリートひびわれ | 相関性は低い | L断面に多く見られる |
| 覆工コンクリート漏水 | 相関性は低い | L断面で多く見られる。 S断面での発生割合が高い |
| 覆工コンクリート遊離石灰 | 相関性は低い | L断面で多く見られる。 割合は低いですがM・S断面でも見られる |
| 接着系ボルト偏心・傾斜 | | ほとんど見られない |
| 引き抜けた接着系ボルトの錆 | BランクよりもCランクに多い傾向 | L・M断面に多く見られ、S断面も割合は高いが相対的には他の断面より少ない |
| 引き抜けた孔内の錆あと | CランクよりもBランクに多い傾向 | M断面でもっとも多く見られ、S・L断面が同等 |
| 引き抜けた孔内の水分 | 相関性は低い | M断面のみで見られたが割合は小さい |
| 内視鏡観察の孔内錆あと | 孔内の錆あとは非常に多く見られる | |
| 覆工コンクリート内部不良 | 相関性は低い | |