

第6章 あと施工アンカーの不具合と引張耐力の関係性の検証

6.1 あと施工アンカーの引張試験

6.1.1 概要

5.1の非破壊検査の検証で使用したあと施工アンカーの不具合模擬供試体のうち、表-6.1.1に示す健全供試体を除くあと施工アンカーについて引張試験を行い、模擬した不具合があとアンカーの引張耐力に及ぼす影響について検証する。引張試験で確認する項目は表-6.1.2のとおりである。なお、実部材供試体の既設アンカーと新設アンカーについては、コンクリート劣化やひび割れ等の変状が非破壊検査に及ぼす影響について検証するためのものであるため引張試験の対象外とした。

表-6.1.1 引張試験の対象としたあと施工アンカー定着不具合

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→130mm)	100
2				鋼材長不足(10D→5D)	100
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	100
4				鋼材破断	100
5				斜め削孔(5°)	100
6				充填不足(小)口元空洞	75
7				充填不足(中)口元空洞	50
8				充填不足(大)口元空洞	25
9				健全	100
10				硬化不良	100
11				付着不良	100
12				鋼材腐食(全面)	100
13				削孔径大(φ19mm → φ26mm)	100
14				削孔長深(10D→12.5D)	100 ^{*1}
15				削孔長深(10D→12.5D)	100
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	75
17				充填不足(中)口元空洞	50
18				充填不足(大)口元空洞	25
19				硬化不良	100
20				付着不良	100
21			健全	100	
22			充填不足(中)、軸力導入(トルク50%)	50	
23			充填不足(中)、軸力導入(トルク100%)	50	
24			上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	75
25				充填不足(中)先端空洞	50
26	充填不足(大)先端空洞	25			
27	M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	
28			なし(健全)	100	
29			充てん不足(中)口元空洞	50	
30			充てん不足(大)口元空洞	25	
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	
32				拡張不足(半打込み)	
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	
34				削孔径大(φ33.0mm→φ38mm)	
35				拡張不足(半打込み)	
36	M24	健全			

※1 標準削孔長時に100%に近くなる充填量とする。

※2 No. 22, 23のトルク導入アンカーは、引張試験時はナットを撤去し、トルクを解放した状態で引張試験を行っている。

表-6.1.2 引張試験で確認する項目

項目	確認方法	備考
荷重-変位	荷重計、変位計	荷重-変位により引張耐力を算出
最大荷重	荷重計	最大引張荷重はアンカー鋼材の降伏荷重を上限とする
破壊形態	目視	付着破壊、コーン破壊、または破壊しない
破壊面の観察	目視・計測	付着面の状態、コーン形状
模擬損傷再現状況	目視・計測	計画との相違

6.1.2 引張試験方法

引張試験は、道路橋支承便覧¹⁾の参考資料-9及びあと施工アンカー試験方法²⁾を参考に実施した。以下に引張試験の手順を示し、図-6.1.1に引張試験の要領図を示す。

- ①アンカー供試体と高張力鋼を継ぎナットで接続
- ②ラムチェアー、センターホールジャッキ、ロードセルをセット
- ③継ぎナットに変位計架台を固定し、変位計架台の両端2点に変位計をセット
- ④油圧ポンプにより高張力鋼を介してアンカー供試体に引張力を作用

荷重速度は100～200kN/min程度（あと施工アンカー試験方法²⁾を参考に、M16の場合、荷重増加率上限は、 $\pi \times 8 \times 8 \times 19.6 / 1000 \times 60 = 236 \text{ kN/min}$

- ⑤引張荷重（kN）と変位量（mm）を計測し、アンカーの引張耐力を確認

滑らかな荷重変位曲線になるように5～10kN間隔程度でデータを記録

- ⑥最大引張荷重は、各不具合の引張耐力への影響を確認するためにM16については最大破断荷重まで荷重を実施。M18については破断させないように最小破断荷重で荷重を終了。M24についてはジャッキ能力より100kNで荷重を終了。

（表-6.1.3）

- ⑦アンカーボルトが引き抜けた場合はボルトを取り出し、破壊状況・模擬損傷再現状況を記録

表-6.1.3 引張試験の対象としたあと施工アンカー定着不具合

アンカー鋼材 (SS400)	有効断面積 (mm ²)	降伏応力度 (N/mm ²)	降伏荷重 (kN)	最小引張強度 (N/mm ²)	最小破断荷重 (kN)	最大引張強度 (N/mm ²)	最大破断荷重 (kN)
M16	156.7	235	36.8	400	62.7	510	79.9
M18	192.5	235	45.2	400	77.0	510	98.2
M24	352.5	235	82.8	400	141.0	510	179.8

※M16については、模擬損傷アンカーを引き抜いて破壊形態を観察することを目的とし、最大破断荷重より80kNとした。

※M18については、最小破断荷重より80kNで荷重を終了。

※M24については、ジャッキ能力より100kNで荷重を終了。

※鋼材の降伏応力度は「JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材」を適用

は、今回設定した引張荷重の設定根拠

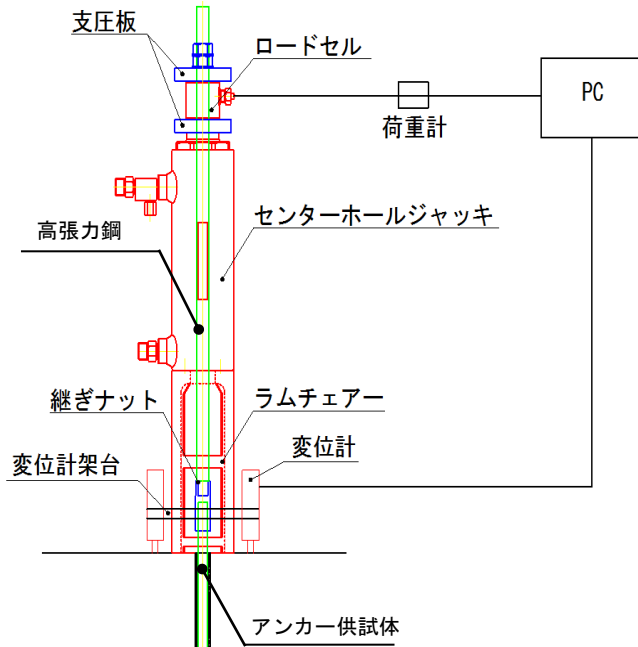


図-6.1.1 引張試験要領図



写真-6.1.1 ラムチェアー



写真-6.1.2 センターホールジャッキ



写真-6.1.3 引張試験状況

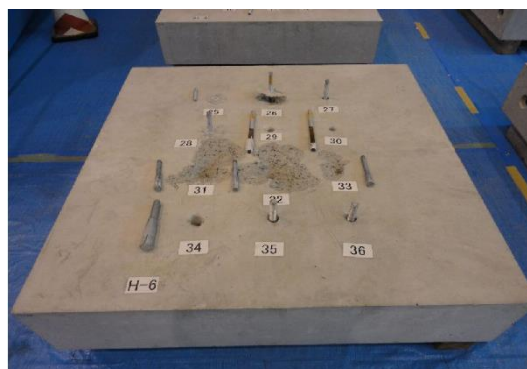


写真-6.1.4 引張試験後の供試体

6.1.3 引張試験結果

あと施工アンカー模擬不具合の引張試験結果を表-6.1.4、荷重変位曲線を図-6.1.2～図-6.1.7 に示す。

①接着系アンカー

- ・樹脂カプセル M16 の「鋼材長不足」(図-6.1.2 No.1～No.3)については、「鋼材長不足 (10D →130mm)」の引張耐力は 89kN で健全アンカー (図-6.1.2 No.9) と同等の引張耐力を有しており、約 2D 程度の鋼材長不足では、引張耐力は低下しなかった。鋼材長不足をさらに大きくした場合は、「鋼材長不足 (10D→5D)」の引張耐力 50kN に対して「鋼材長不足 (10D→2.5D)」の引張耐力は 17kN であり、鋼材長が短くなるほど引張耐力の低下が大きくなることが確認された。「鋼材長不足 (10D→2.5D)」については、最大荷重は鋼材降伏荷重以下であり、最大荷重到達後急激な荷重低下と変位の増加を生じた。「鋼材長不足 (10D→5D)」の引張耐力は鋼材降伏荷重を上回ったものの、「鋼材長不足 (10D→2.5D)」と同様に、最大荷重到達後急激な荷重低下と変位の増加を生じた。これは、アンカーの長さが短いほどせん断抵抗面積も小さくなり、コーン破壊が生じやすくなるためと考えられる。
- ・「鋼材破断」(図-6.1.2 No.4)、「斜め削孔 (5°)」(図-6.1.2 No.5)については健全なアンカーと比較すると若干の引張耐力の低下は見られるものの正常に近い耐力を示した。ただし、試験体では破断面の一部を点付溶接しており、実際に完全に破断している場合の影響は不明である。
 - ・樹脂カプセル M16 の「充填不足」(図-6.1.2 No.6、図-6.1.3 No.7～No.8)については、「充填不足 (小)」の引張耐力は健全アンカーとほぼ同等であったが、「充填不足 (中)」では 51kN、「充填不足 (大)」では 30kN まで低下した。「充填不足 (中)」と「充填不足 (大)」はともに最大荷重後到達後は急激な荷重低下は生じず変位が増加した。
- ・「硬化不良」(図-6.1.3 No.10、図-6.1.5 No.19)については、樹脂に 10%加水して模擬したが、引張耐力の低下は見られなかった。本研究での「硬化不良」作製においては、接着剤の圧縮強度を確認していないため、「硬化不良」を適切に模擬できているか不明であるが、接着剤の強度のばらつきによって引張耐力もばらつくものと推察される。
- ・「付着不良」(図-6.1.3 No.11、図-6.1.5 No.20)では、孔壁にセメントペーストを塗布した場合 (樹脂カプセル) と障子紙を貼りつけた場合 (樹脂注入) の 2 種類の方法で不具合を模擬したが、障子紙を貼りつけた場合の引張耐力は 6kN であり、健全な場合と比べて大きく低下した。今回のようにアンカーとコンクリートの付着がほとんど期待できない場合は、引張耐力は大きく低下すると考えられる。一方、セメントペーストの塗布で不具合を模擬した場合は引張耐力の低下は見られなかった。これは、セメントペーストが薄く接着剤と孔壁の縁切れが十分でなかったことが原因と考えられる。破壊形態は付着+コーン破壊であり、特にコーン破壊を起こした部分の付着不良が十分でなかった可能性がある。

- ・「鋼材腐食（全面）」（図-6.1.3 No.12）、「削孔径大（ $\phi 19 \rightarrow \phi 26\text{mm}$ ）」（図-6.1.3 No.13）、「削孔長深（ $10D \rightarrow 12.5D$ ）」（図-6.1.3 No.14～No.15）については健全アンカーと同等の引張耐力を有していた。「鋼材腐食（全面）」については、酸性洗剤と塩水でアンカーに腐食を発生させたが、アンカーが断面欠損を生じるほど腐食しておらず、引張耐力に影響を及ぼさなかったものと考えられる。「削孔径大（ $\phi 19 \rightarrow \phi 26\text{mm}$ ）」については、接着剤が削孔長全てに渡り充填されているため、十分なせん断抵抗面積が確保され、健全アンカーと同等な引張耐力を有していたものと考えられる。
- ・樹脂注入 M16 の「充填不足」（図-6.1.4 No.16～No.18）については、充填不足で生じる空洞の位置をボルト先端部（上向き施工を想定）と口元部（下向き施工を想定）に模擬して比較を行った。「充填不足（大）」では、先端部に空洞があるほうが口元部に空洞がある場合と比べて引張耐力の低下が大きいことが確認された。これは、定着部が浅い位置にあるほど付着抵抗が小さく、深い位置ほど付着抵抗が大きくなるため、先端部に空洞がある場合はこの付着抵抗が小さくなり引張耐力の低下が大きくなったと考えられる。「充填不足（中）」、「充填不足（小）」は健全アンカーと同等の引張耐力を有していた。
- ・樹脂注入 M18 の「充填不足」（図-6.1.5 No.24、図-6.1.6 No.25～No.26）については、「充填不足（大）」の引張耐力は鋼材降伏強度をわずかに上回った（52kN）が、最大荷重到達後は急激な荷重の低下と変位の増加が生じた。「充填不足（中）」に引張耐力は 89kN であったが、「充填不足（大）」と同様に、最大荷重到達後急激な荷重の低下を生じた。

②金属系アンカー

- ・M16 の健全アンカーの引張耐力は 64kN であったが、「削孔径大（ $\phi 22.5 \rightarrow \phi 26.5\text{mm}$ ）」の引張耐力は 15kN で健全アンカーに比べて大きく低下した。M24 についても同様で、健全アンカーの引張耐力 101kN に対し、「削孔径大 $\phi 33.0 \rightarrow 38.0\text{mm}$ ）」では 4kN であった。この要因として金属系アンカーは主にその穴に拡張部を有する金属アンカーを挿入し 拡張部を開かせて機械的に固着する方式であり、削孔が大きいことで拡張による固着の機能が十分に発揮されないためと考えられる。
- ・M16 の「拡張不足（半打込み）」については、健全アンカーと比較すると若干の引張耐力の低下は見られるもののアンカーの機能として問題ない耐力を有していた。
- ・M24 については、ジャッキの能力の都合上 100kN で載荷を終了した。「拡張不足（半打込み）」の最大引張荷重は、健全アンカーと同様に 100kN まで到達したが、100kN 到達時の変位は健全アンカー（約 16mm）に比べ小さかった（約 6mm）。

表-6.1.4 あと施工アンカー模擬不具合の引張試験結果

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)	①鋼材降伏荷重(kN)	②アンカー引張耐力(kN)	破壊形態	②/①×100(%)	
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→130mm)	100	37	89	鋼材破断	241	
2				鋼材長不足(10D→5D)	100	37	50	付着+コーン破壊	135	
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	100	37	17	コーン破壊	46	
4				鋼材破断	100	37	79	鋼材降伏	214	
5				斜め削孔(5°)	100	37	81	鋼材降伏	219	
6				充填不足(小)口元空洞	75	37	80	鋼材降伏	216	
7				充填不足(中)口元空洞	50	37	51	付着破壊	138	
8				充填不足(大)口元空洞	25	37	30	付着破壊	81	
9				健全	100	37	84	鋼材降伏	227	
10				硬化不良	100	37	81	鋼材降伏	219	
11				付着不良	100	37	85	付着+コーン破壊	230	
12				鋼材腐食(全面)	100	37	88	鋼材破断	238	
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	100	37	87	鋼材破断	235	
14				削孔長深(10D→12.5D)	100 ^{※1}	37	85	鋼材降伏	230	
15				削孔長深	100	37	88	鋼材降伏	238	
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	37	78	鋼材破断	211	
17				充填不足(中)口元空洞	50	37	79	鋼材破断	214	
18				充填不足(大)口元空洞	25	37	57	付着破壊	154	
19				硬化不良	100	37	87	鋼材降伏	235	
20				付着不良	100	37	6	付着破壊	16	
21				健全	100	37	79	鋼材降伏	214	
22				充填不足(中)、軸力導入(トルク50%)	50	37	77	鋼材破断	208	
23			充填不足(中)、軸力導入(トルク100%)	50	37	76	鋼材降伏	205		
24			上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	75	37	78	鋼材降伏	211	
25				充填不足(中)先端空洞	50	37	79	鋼材破断	214	
26				充填不足(大)先端空洞	25	37	24	付着+コーン破壊	65	
27			M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	45	97	鋼材降伏	216
28					なし(健全)	100	45	82	鋼材降伏	182
29					充てん不足(中)口元空洞	50	45	89	付着破壊	198
30	充てん不足(大)口元空洞	25			45	52	付着破壊	116		
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	/	37	64	コーン破壊	173	
32				拡張不足(半打込み)	/	37	50	コーン破壊	135	
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	/	37	15	付着破壊	41	
34		M24		削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	/	83	4	付着破壊	5	
35				拡張不足(半打込み)	/	83	100	鋼材降伏	120	
36				健全	/	83	101	鋼材降伏	122	

 アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重未満

※1 標準削孔長時に100%に近くなる充填量とする。

※2 No. 22, 23のトルク導入アンカーは、引張試験時はナットを撤去し、トルクを解放した状態で行っている。

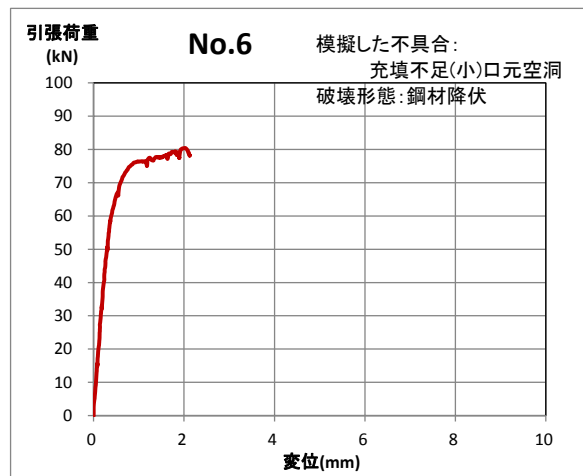
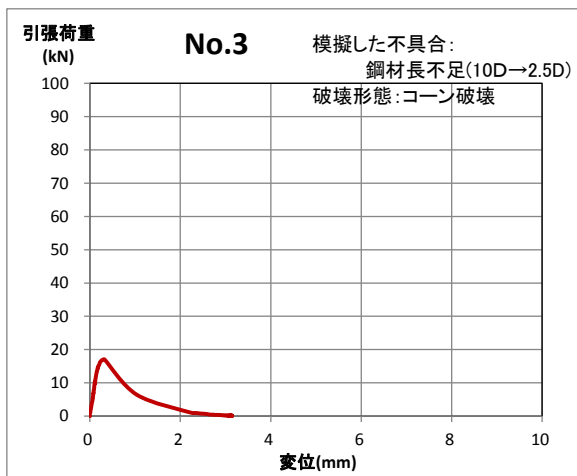
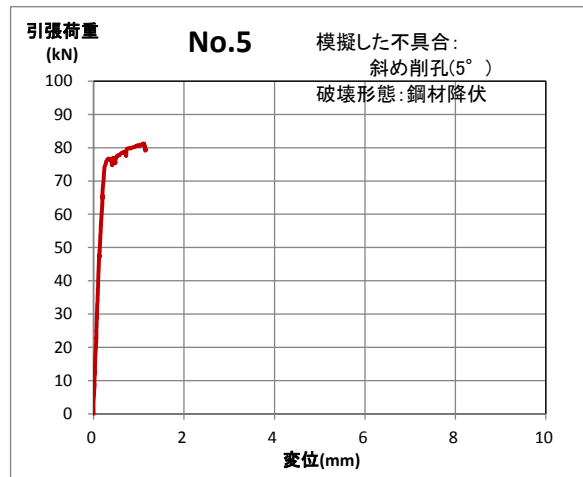
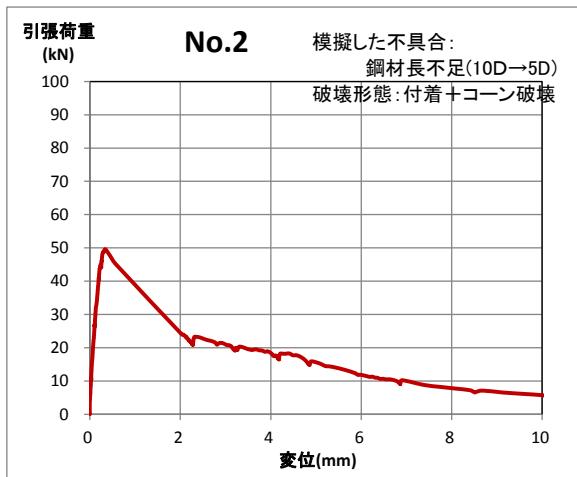
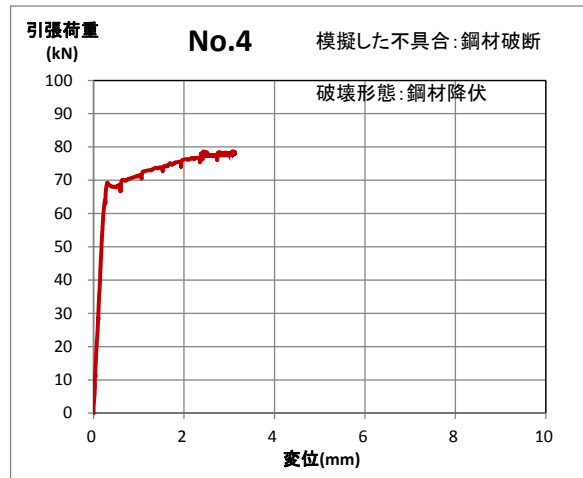
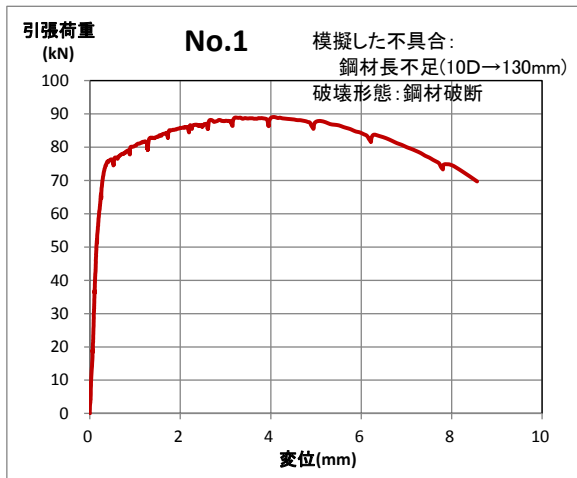


図-6.1.2 荷重変位曲線 (1)

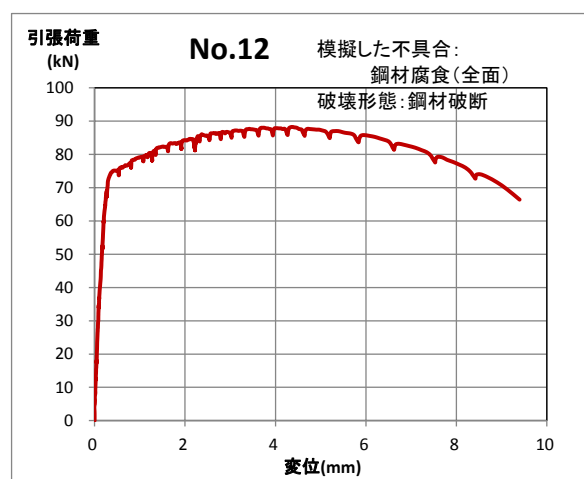
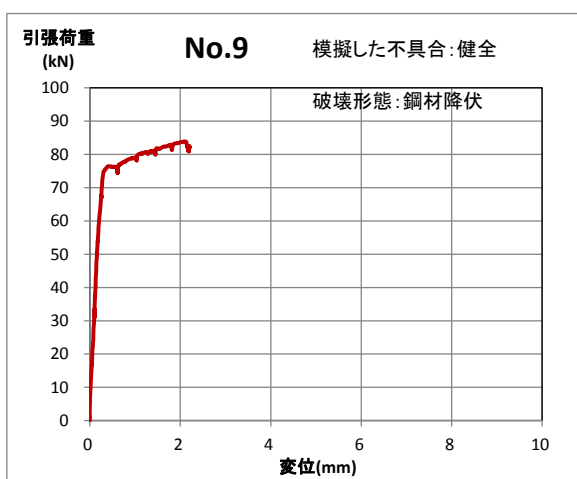
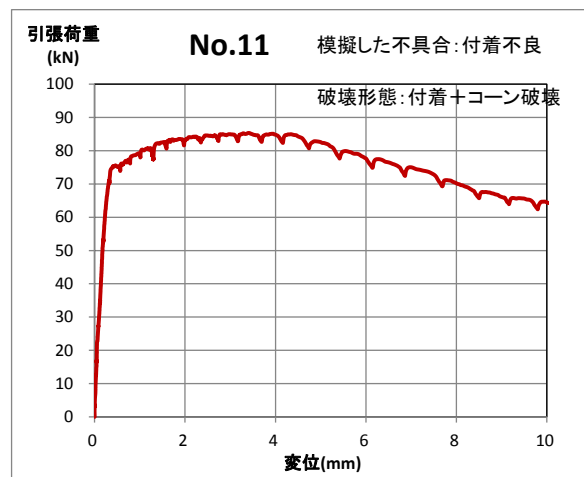
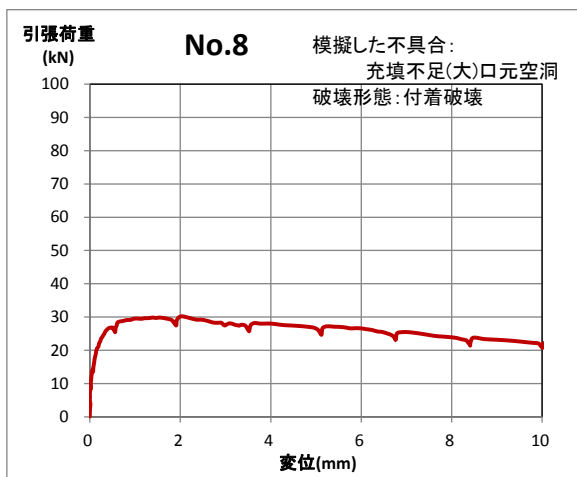
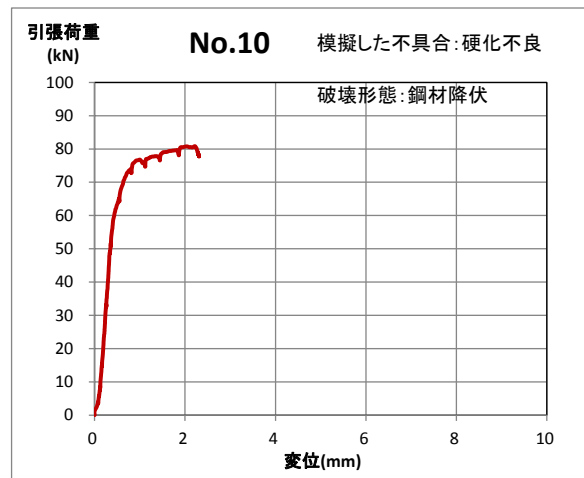
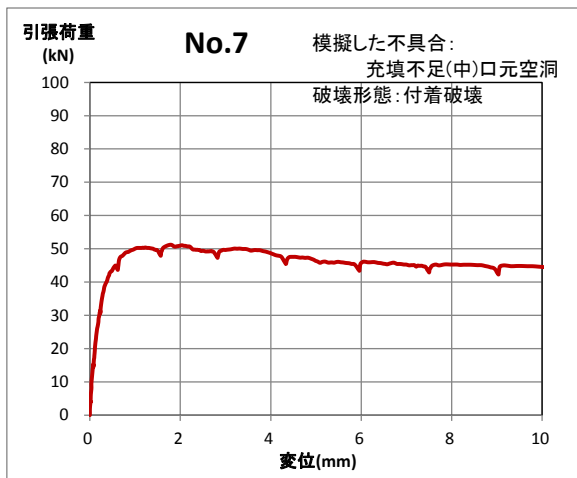


図-6.1.3 荷重変位曲線 (2)

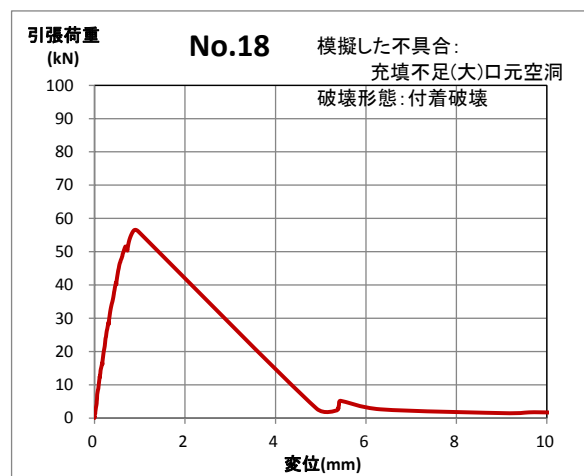
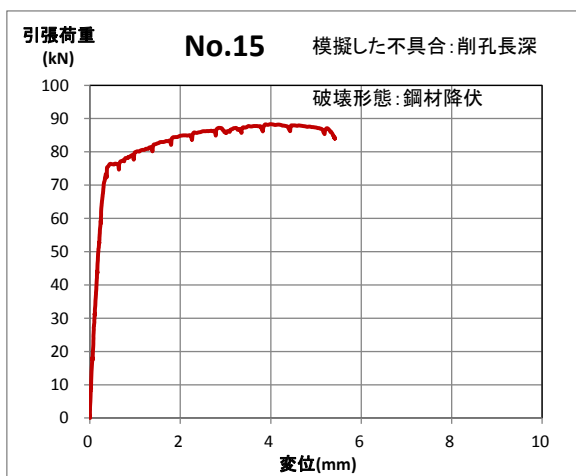
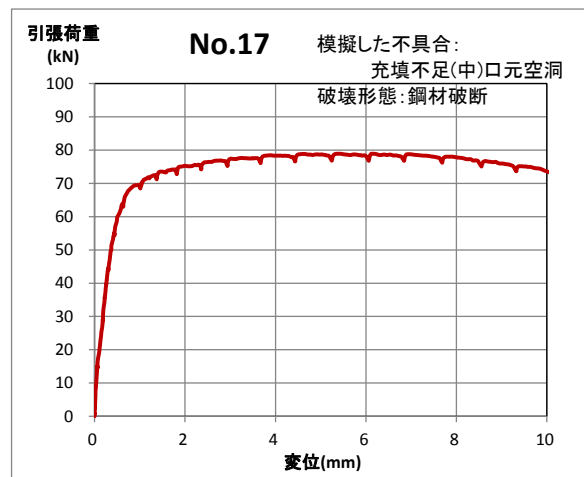
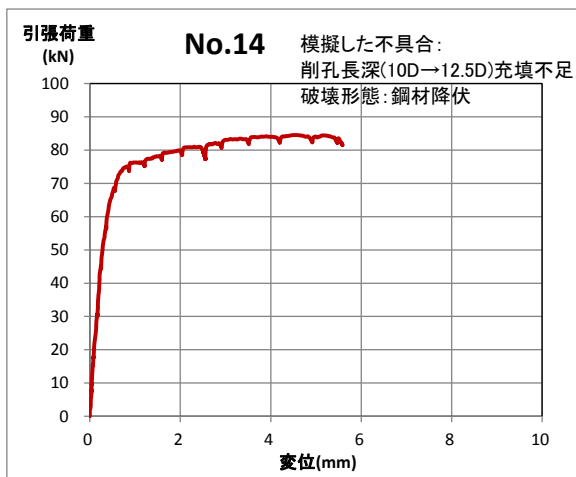
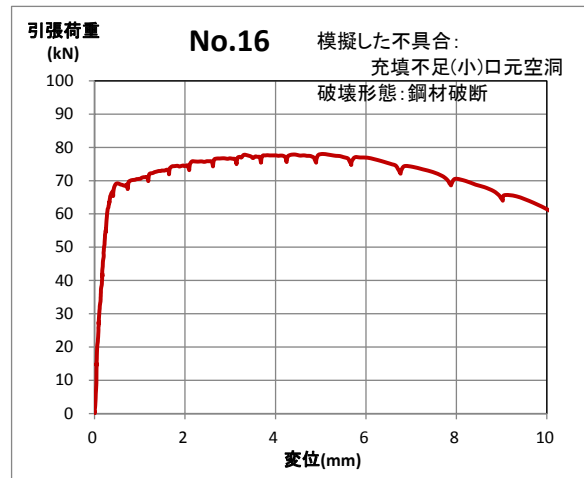
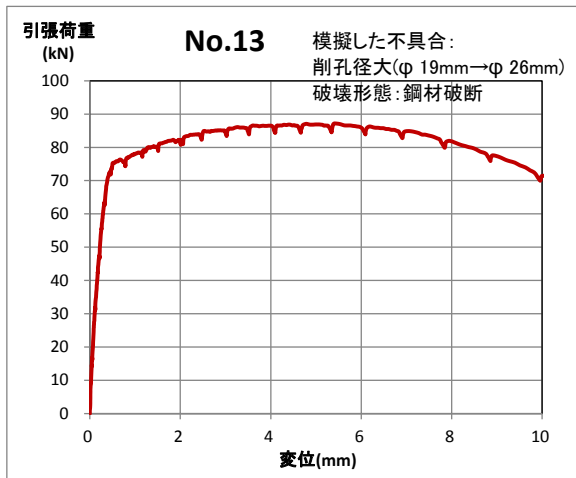


図-6.1.4 荷重変位曲線 (3)

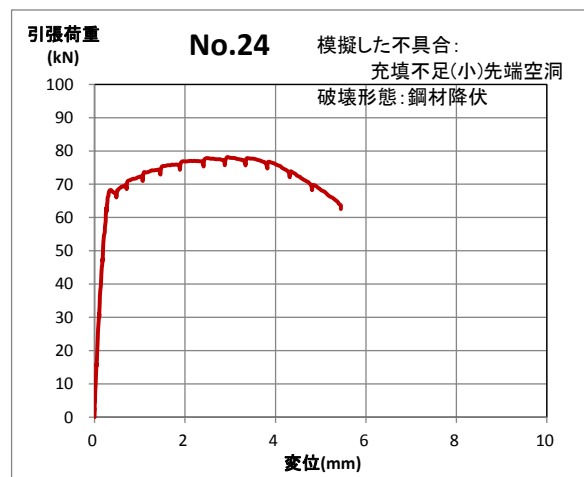
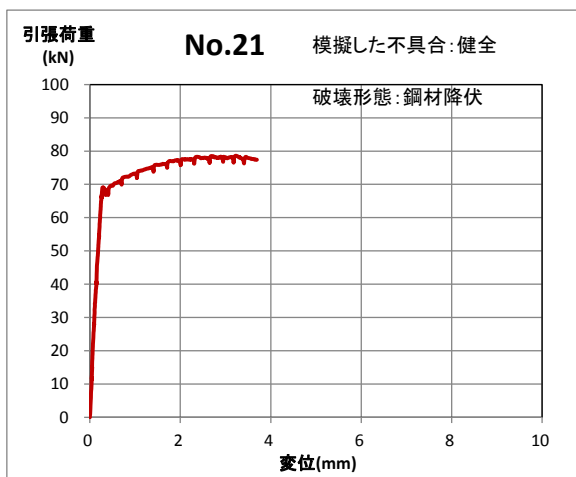
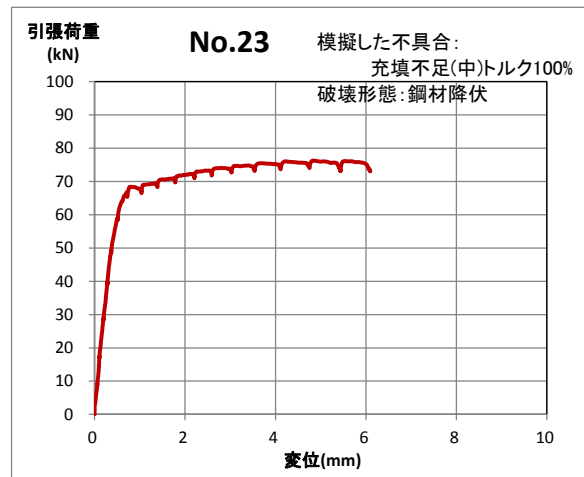
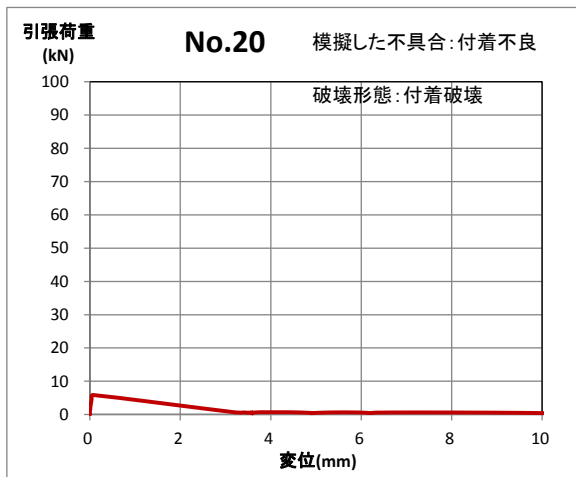
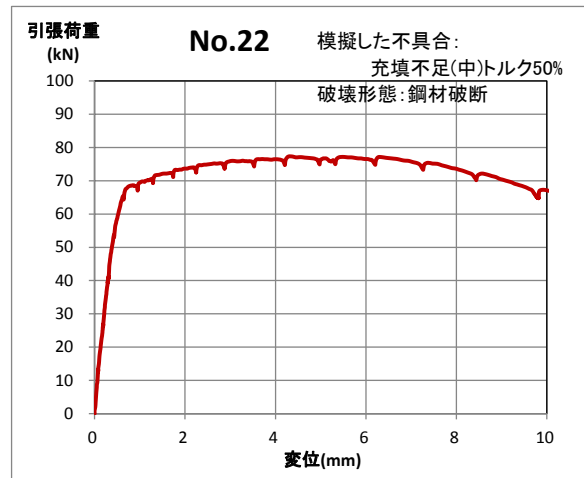
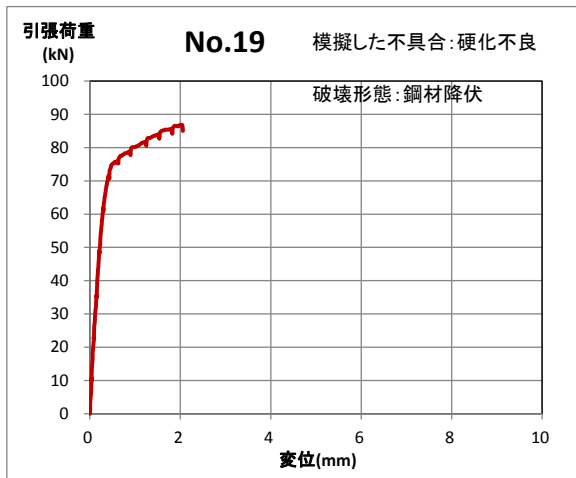


図-6.1.5 荷重変位曲線 (4)

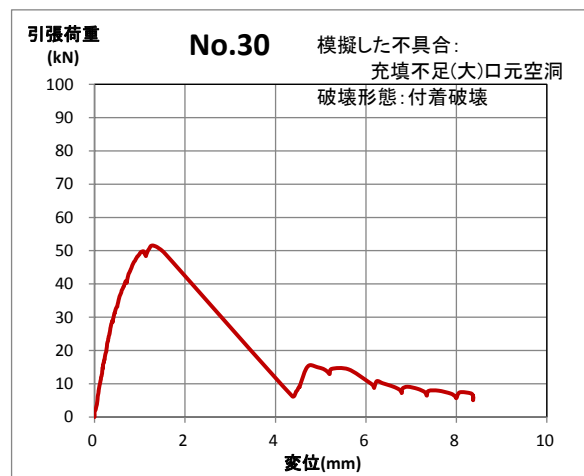
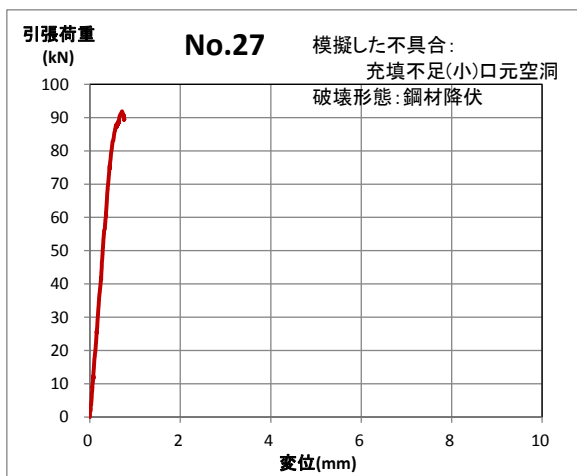
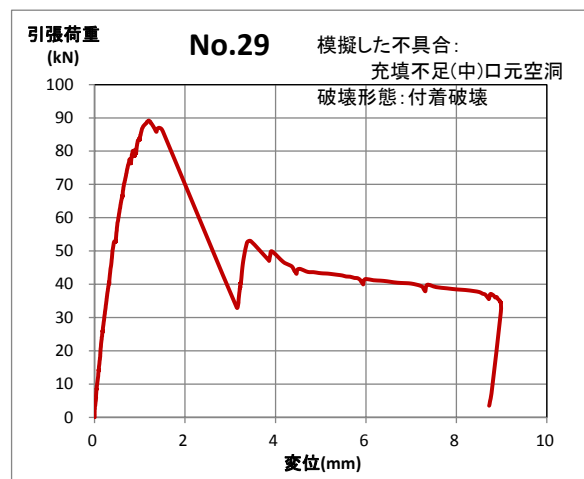
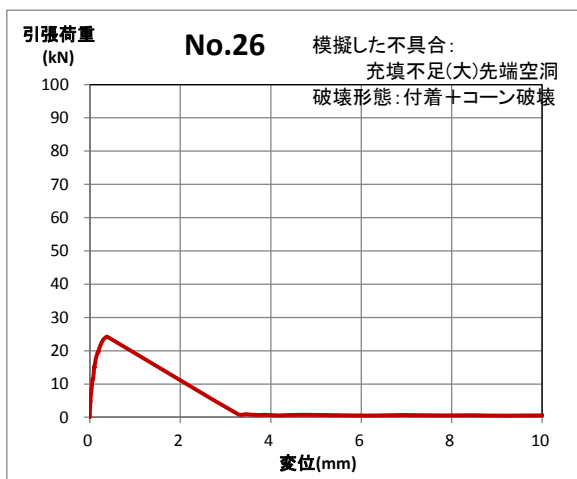
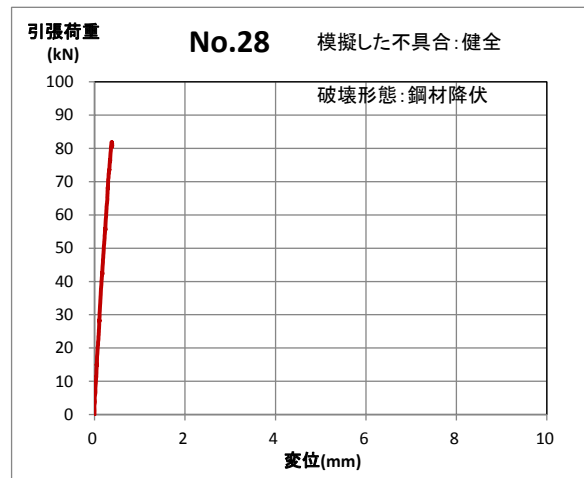
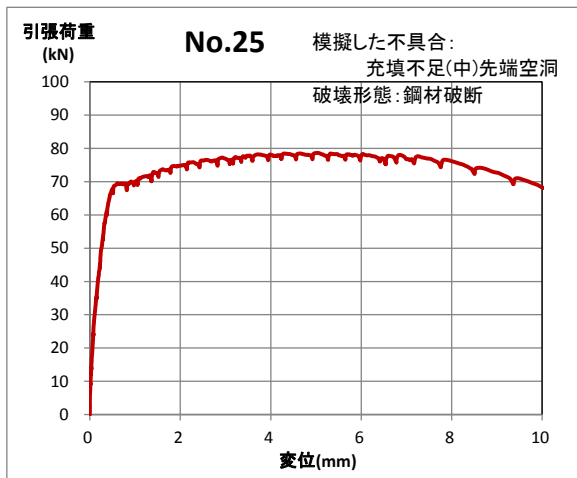


図-6.1.6 荷重変位曲線 (5)

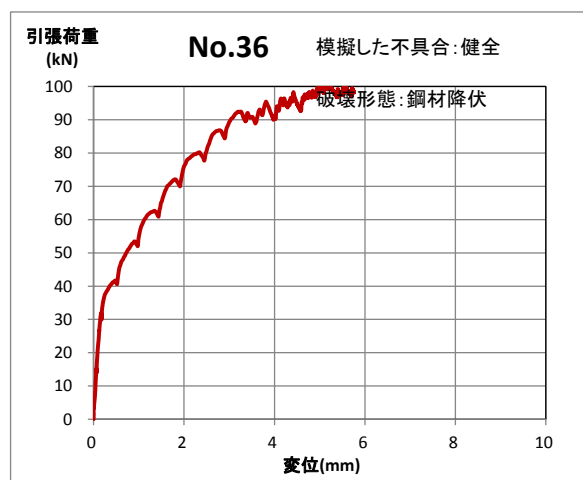
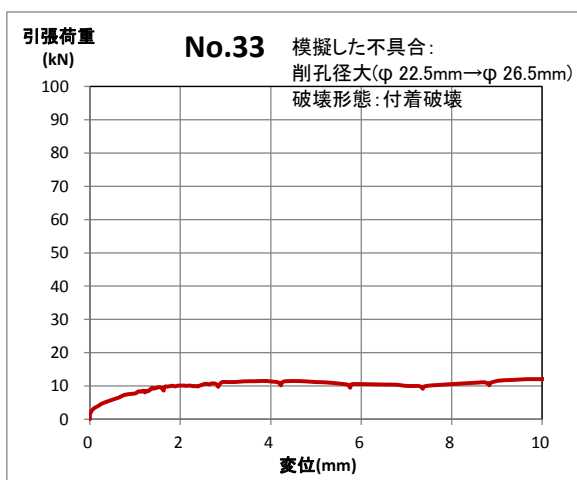
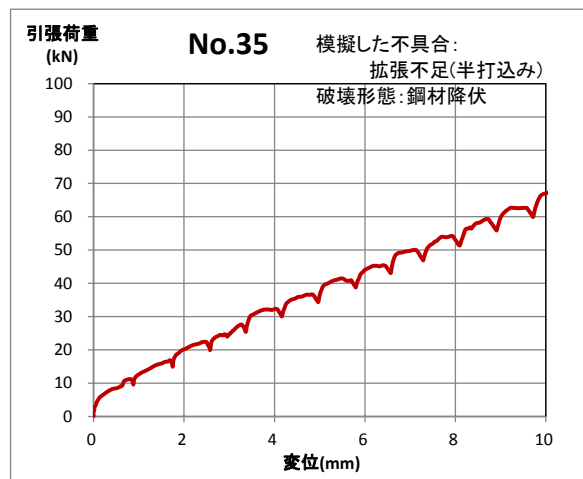
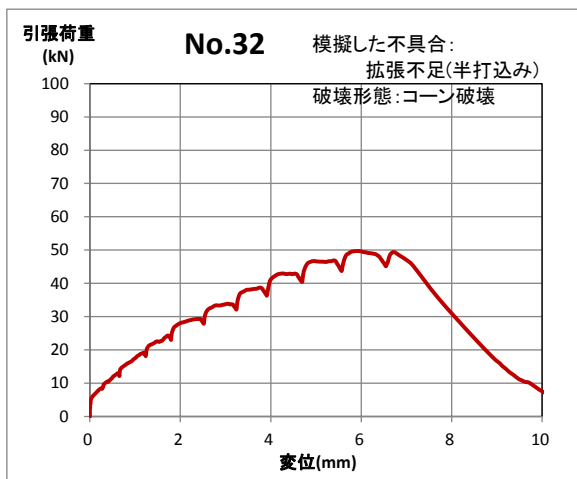
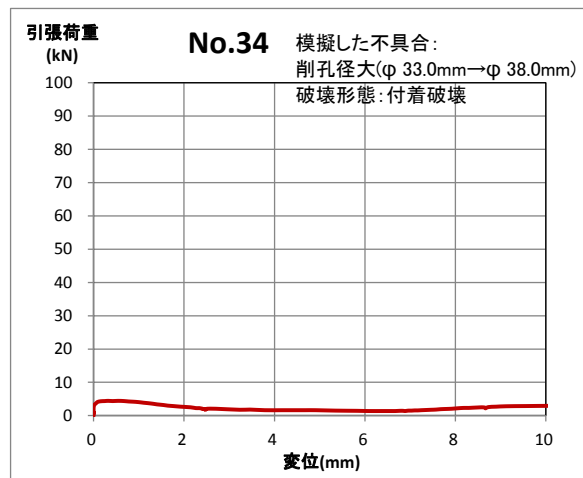
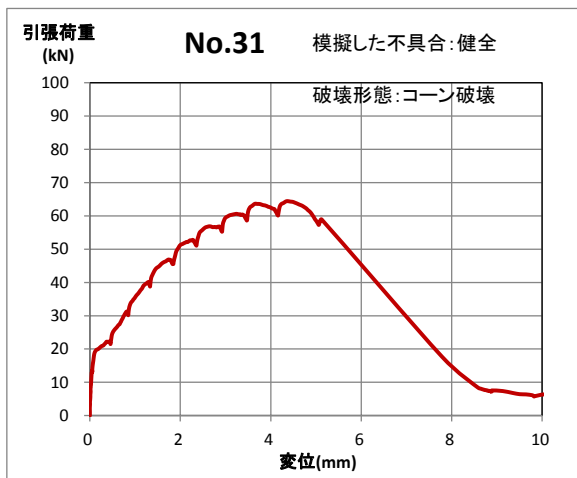


図-6.1.7 荷重変位曲線 (6)

6.1.4 あと施工アンカーの引張耐力低下に影響する不具合

①鋼材降伏荷重を下回る不具合

引張試験結果より、あと施工アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合は表-6.1.5 および図-6.1.8～図-6.1.12 のとおり、接着系アンカー（樹脂カプセル、樹脂注入）で「鋼材長不足（10D→2.5D）」、「充填不足（大）口元空洞」、「付着不良」、「充填不足（大）先端空洞」、金属系アンカー（金属スリーブ）で「削孔径大（φ22.5mm→φ26.5mm）」、「削孔径大（φ33.0mm→φ38.0mm）」であった。

②健全アンカーの引張耐力を下回る不具合

鋼材の降伏荷重は下回らないが引張試験時の健全なアンカーボルトを基準として耐力の低下率を整理すると表-6.1.6 および図-6.1.13～6.1.17 のとおりで、アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合以外で引張耐力の低下が確認できた不具合は接着系アンカー（樹脂カプセル、樹脂注入）で「鋼材長不足（10D→5D）」、「鋼材破断」、「斜め削孔（5°）」、「充填不足（小）口元空洞」、「充填不足（中）口元空洞」、「充填不足（小）先端空洞」、金属系アンカー（金属スリーブ）で「拡張不足（半打込み）」であった。しかし、模擬した不具合すべてに耐力の低下が生じているわけではなく、不具合によっては、健全と同等の引張耐力を有しているものもあり、不具合の内容と引張耐力の関係は複雑であることが確認された。

③不具合の状態が引張耐力に及ぼす影響

今回の引張試験の結果では、硬化不良による引張耐力の低下は確認されなかったが、図-3.2.10～図-3.2.11 で示した事前試験の場合ように、硬化不良の模擬の状態によっては、引張耐力が低下する場合もあると考えられる。このように、同じ不具合であってもその状態のばらつきによって引張耐力に影響を及ぼす場合があると考えられる。

④引張耐力と不具合の関係性

引張耐力の低下が大きかった接着系アンカーの「鋼材長不足」と「充填不良」について、不具合設計時の計算付着耐力と引張試験結果の比較を図-6.1.18～6.1.19 に示す。「鋼材長不足」については、設計付着耐力と同様に、鋼材長不足が大きくなるほど（鋼材埋め込み長が小さくなるほど）耐力は小さくなる傾向であった。しかし、「充填不足」については、施工向きや接着剤の種類によってばらつきがあり、充填率 25%ではすべて引張耐力は低下したが、充填率 50%の樹脂注入では引張耐力は低下しなかった。

以上のように、引張耐力の低下が大きい不具合であっても、その低下の度合いにはばらつきがあった。また、鋼材の降伏荷重を下回らないが健全なアンカーボルトに比べて引張耐力が低下する不具合も多様であり、その低下度合いにも規則性は確認されなかった。さらに、不具合によっては健全と同等の引張耐力を有しているものもあり、必ずしも不具合内容により引張耐力が低下しないことが確認された。

実際の現場においても母材コンクリートの状態やアンカー定着部内部の変状の有無等様々な条件が複合し、必ずしも不具合内容と引張耐力の低下は一致しないことが想定され、不具合の内容と引張耐力低下の関係性を明確にすることは困難であると予想される。

表-6.1.5 アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)	①鋼材降伏荷重(kN)	②アンカー引張耐力(kN)	破壊形態
3	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→2.5D)	100	37	17	コーン破壊
8				充填不足(大)口元空洞	25	37	30	付着破壊
20	樹脂注入	M16	上向き(模擬)	付着不良	100	37	6	付着破壊
26				充填不足(大)先端空洞	25	37	24	付着+コーン破壊
33	金属スリーブ	M16	下向き	削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	/	37	15	付着破壊
34		M24		削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	/	83	4	付着破壊

表-6.1.6 アンカーの引張耐力低下を及ぼす不具合

No.	アンカー種別	ボルト呼び径(mm)	施工方向	模擬した不具合	樹脂充填率(%)	①鋼材降伏荷重(kN)	②アンカー引張耐力(kN)	破壊形態	②/健全×100(%)
2	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→5D)	100	37	50	付着+コーン破壊	60%
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	100	37	17	コーン破壊	20%
4				鋼材破断	100	37	79	鋼材降伏	94%
5				斜め削孔(5°)	100	37	81	鋼材降伏	96%
6				充填不足(小)口元空洞	75	37	80	鋼材降伏	95%
7				充填不足(中)口元空洞	50	37	51	付着破壊	61%
8				充填不足(大)口元空洞	25	37	30	付着破壊	36%
9				健全	100	37	84	鋼材降伏	100%
10				硬化不良	100	37	81	鋼材降伏	96%
16				樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	75	37
18	充填不足(大)口元空洞	25	37				57	付着破壊	72%
20	付着不良	100	37				6	付着破壊	8%
21	健全	100	37				79	鋼材降伏	100%
22	充填不足(中)口元空洞 軸力導入(トルク50%)	50	37			77	鋼材破断	97%	
23	充填不足(中)口元空洞 軸力導入(トルク100%)	50	37			76	鋼材降伏	96%	
24	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	75			37	78	鋼材降伏	99%
26	充填不足(大)先端空洞	25	37			24	付着+コーン破壊	30%	
28	M18	下向き	なし(健全)	100	45	82	鋼材降伏	100%	
30			充てん不足(大)口元空洞	25	45	52	付着破壊	63%	
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	/	37	64	コーン破壊	100%
32				拡張不足(半打込み)	/	37	50	コーン破壊	78%
33				削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	/	37	15	付着破壊	23%
34		M24		削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	/	83	4	付着破壊	4%
35				拡張不足(半打込み)	/	83	100	鋼材降伏	99%
36				健全	/	83	101	鋼材降伏	100%

耐力低下率を求める基準とした健全なアンカーボルト
 アンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重未滿

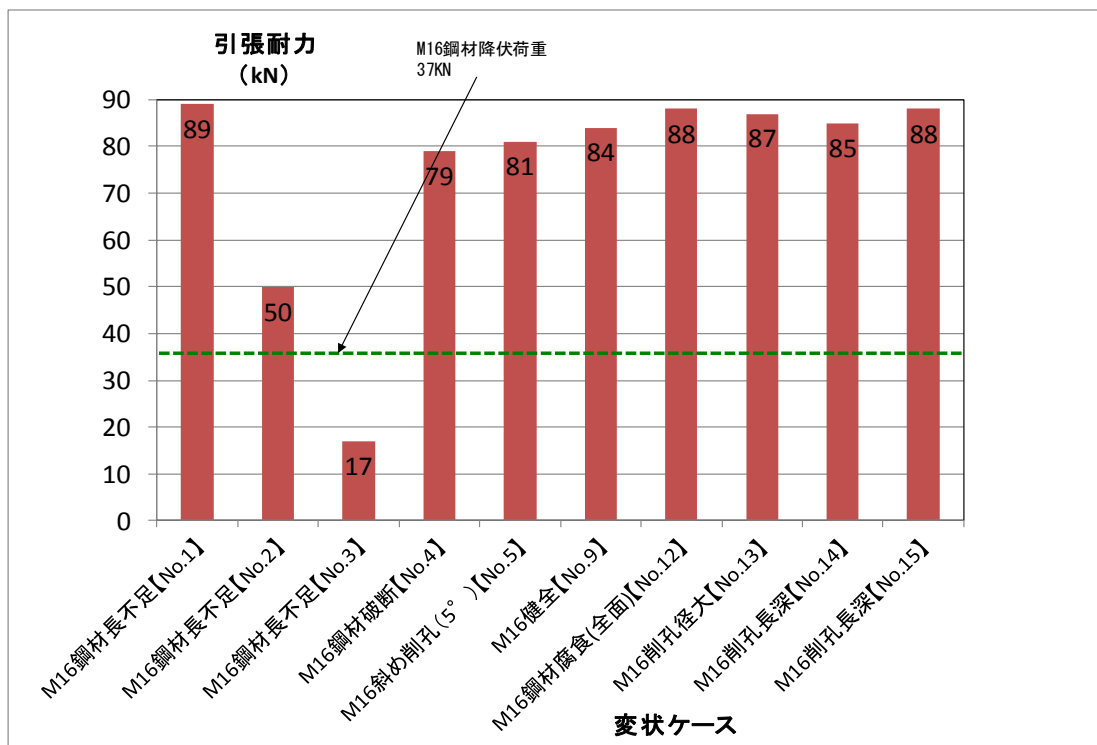


図-6.1.8 引張耐力 (M16 カプセル式) 【鋼材・削孔の不具合】

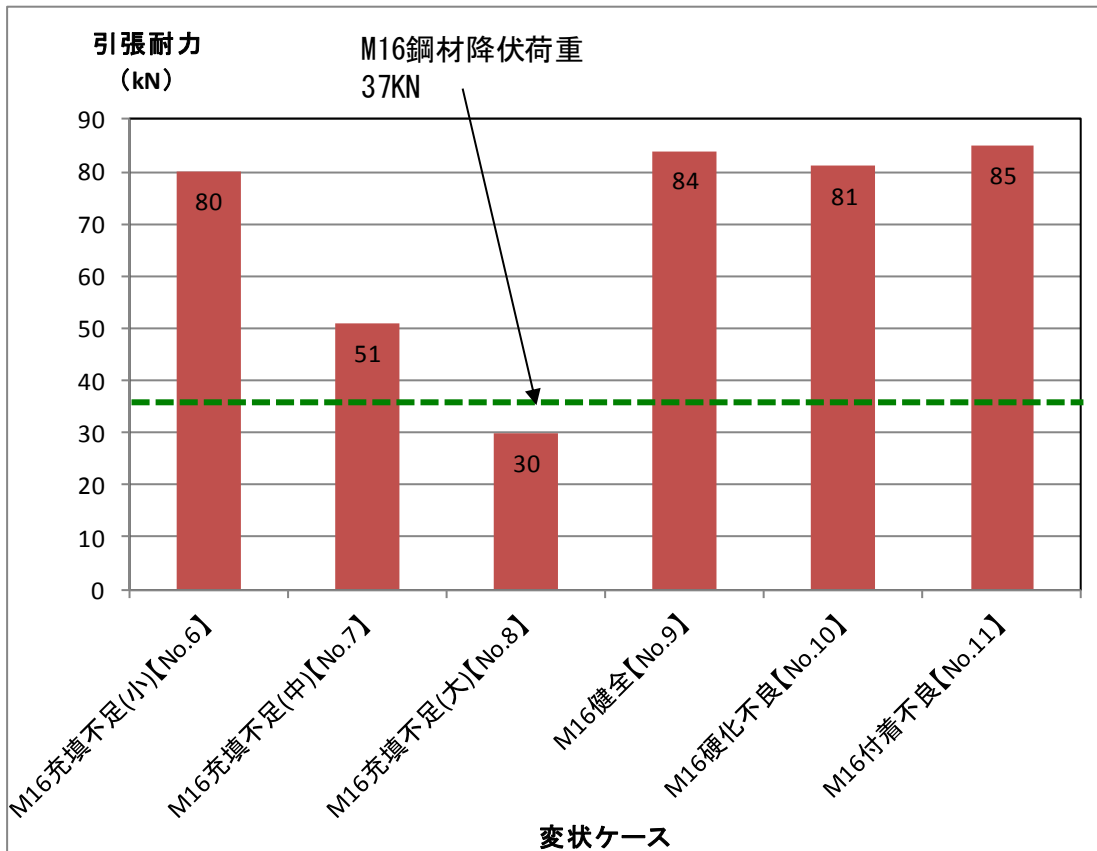


図-6.1.9 引張耐力 (M16 カプセル式) 【充填不足・その他定着部の不具合】

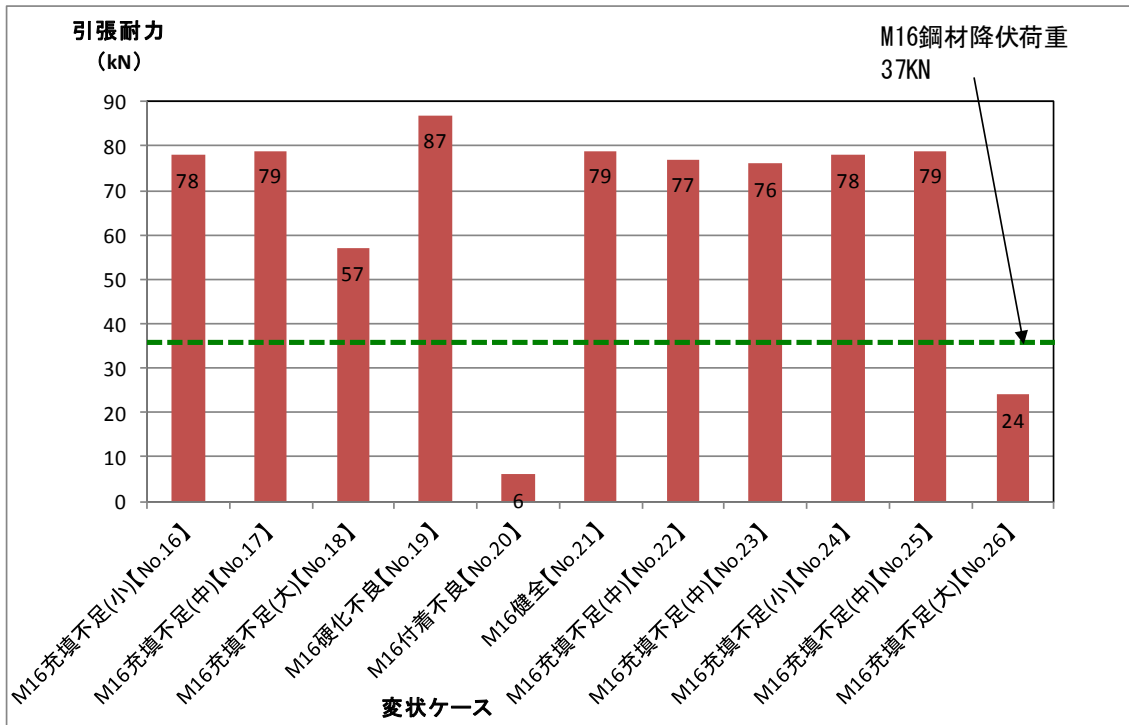


図-6.1.10 引張耐力 (M16 注入式) 【充填不足・その他定着部の不具合】

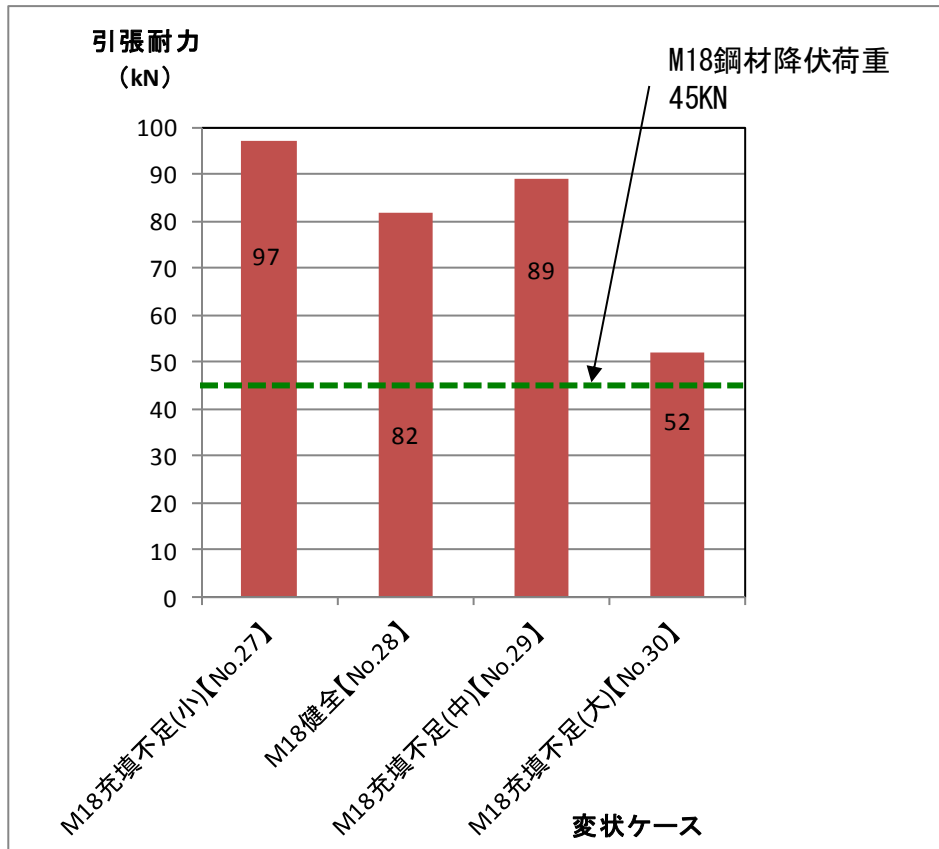


図-6.1.11 引張耐力 (M18 注入式) 【充填不足】

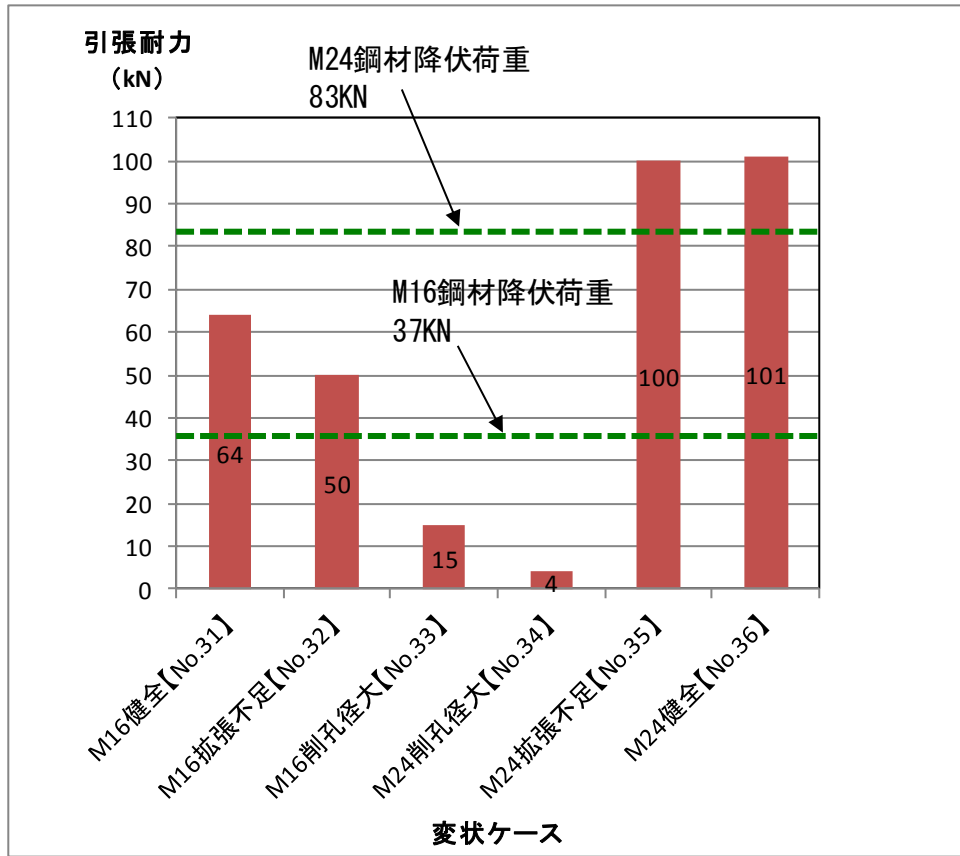


図-6.1.12 引張耐力 (M16, 24 金属スリーブ式) 【拡張不足・削孔の不具合】

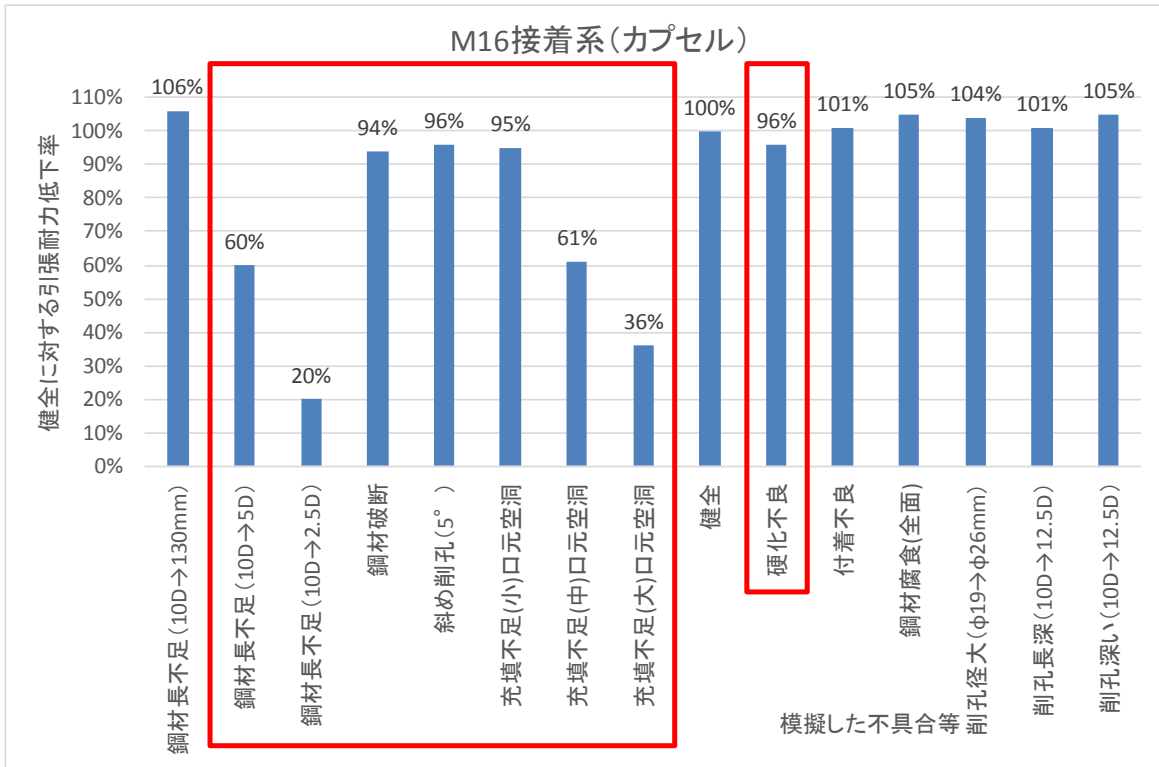


図-6.1.13 引張耐力の低下率【M16 接着系 (カプセル)】

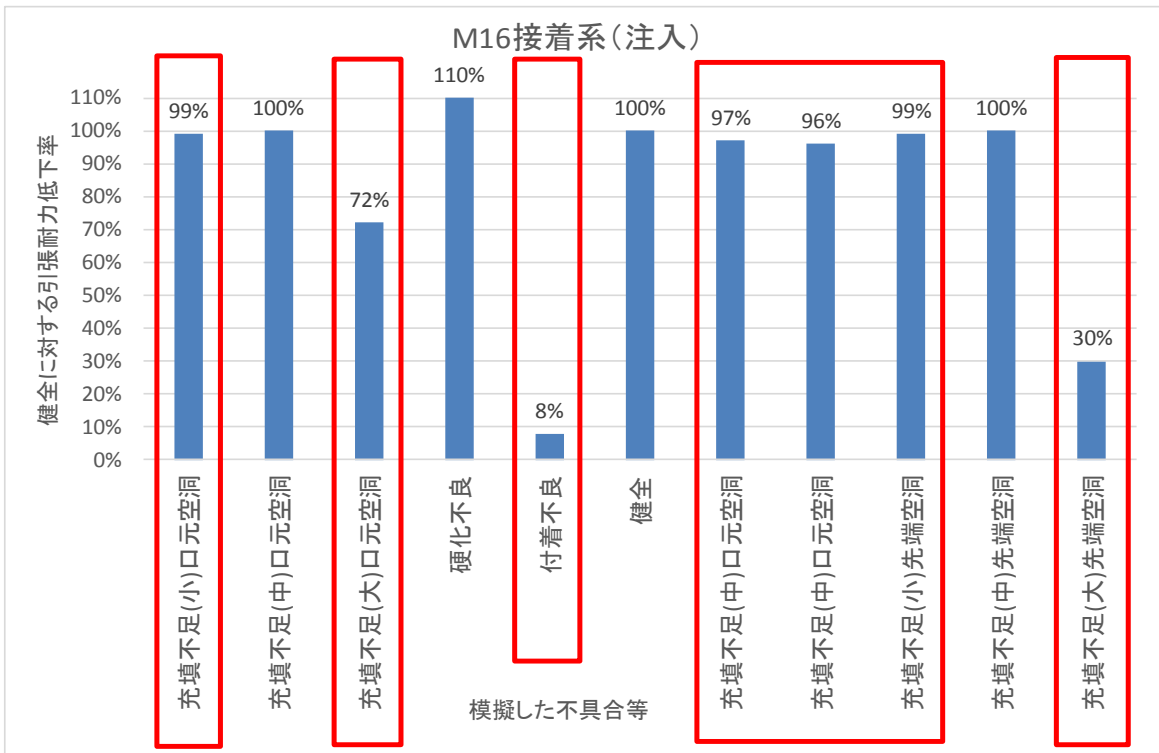


図-6.1.14 引張耐力の低下率【M16 接着系 (注入)】

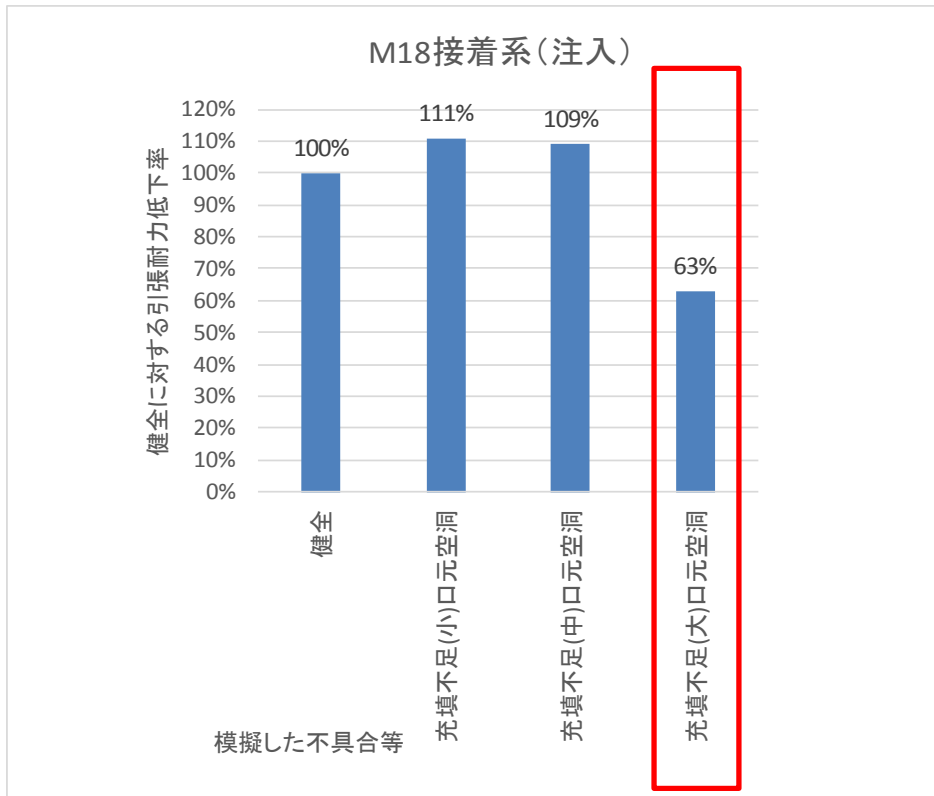


図-6.1.15 引張耐力の低下率【M18 接着系 (注入)】

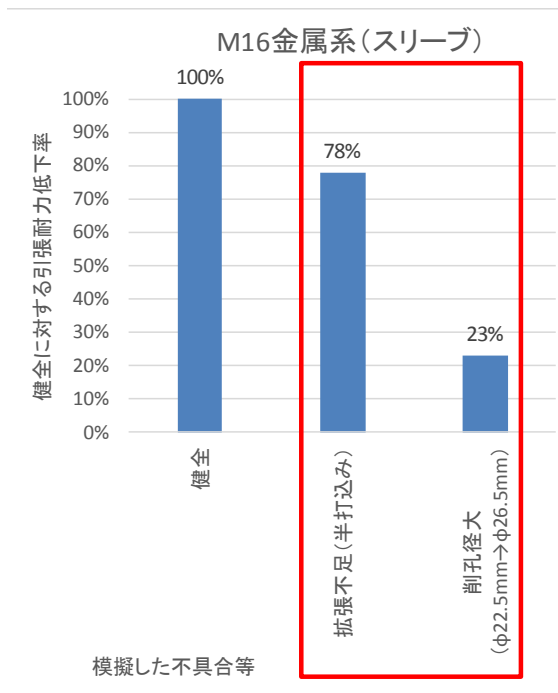


図-6.1.16 引張耐力の低下率
【M16 金属系 (スリーブ)】

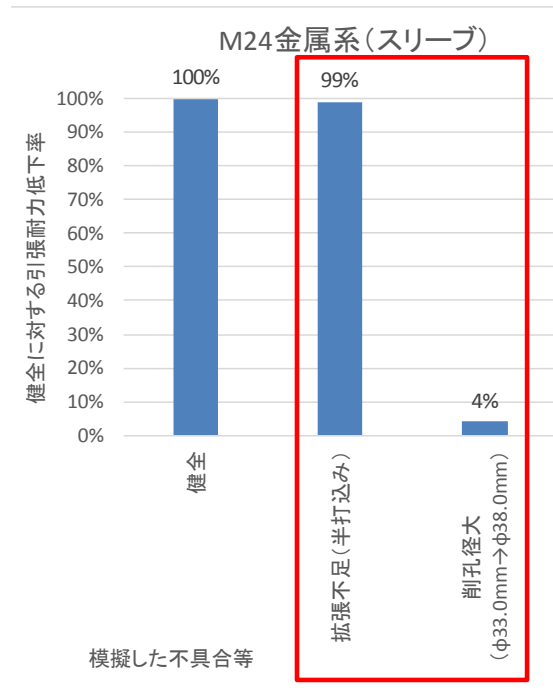


図-6.1.17 引張耐力の低下率
【M24 金属系 (スリーブ)】

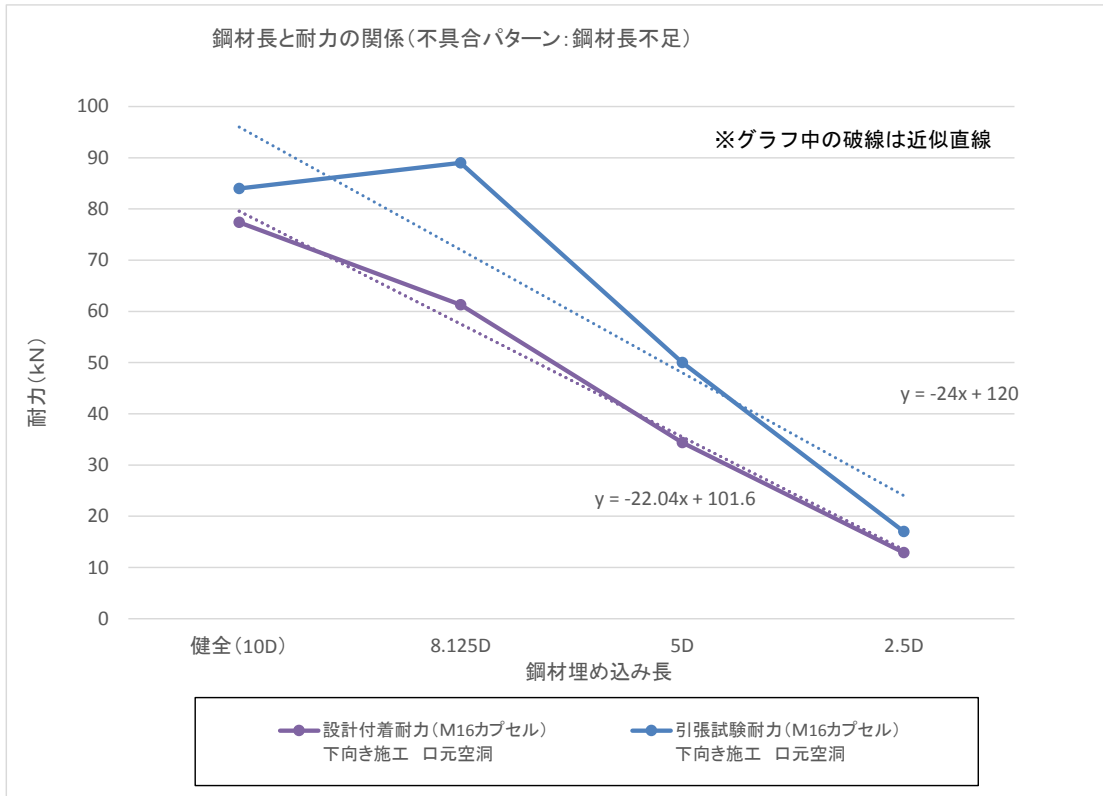


図-6.1.18 鋼材長と引張耐力の関係

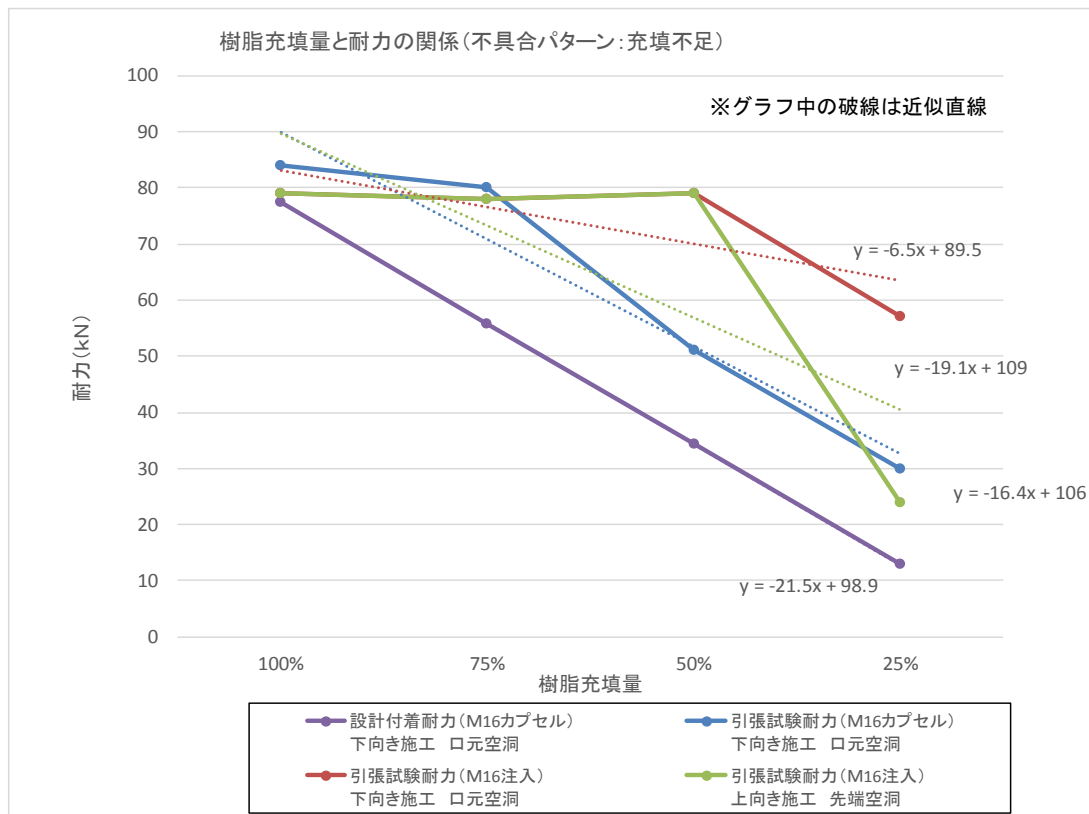


図-6.1.19 樹脂充填量と耐力の関係

6.2 検知目標とするあと施工アンカーの不具合の種類と程度の整理

6.2.1 あと施工アンカー引張耐力低下不具合の検知性能

非破壊検査差で確実に検知することが望まれる不具合は、6.1 の引張試験結果からアンカーの引張耐力が鋼材降伏荷重を下回る不具合である。5.1 で実施した非破壊検査における各検査技術の検知性能と引張試験結果を表-6.2.1～表-6.2.8 のとおり整理した。さらに、検査技術別、耐力低下不具合別に検知性能評価について表-6.2.9～表-6.2.11、図-6.2.1～図-6.2.2 のとおり整理した。

不具合の内容と引張耐力の関係性を明確にすることが困難であることを考慮した場合、不具合が生じているあと施工アンカーは引張耐力低下の可能性があるとするのが難ありの評価といえる。そこで、検知性能評価については、「不具合の有無を検知できること」を評価することとし、不具合の内容を正しく検知できている場合は「正解」、不具合は検知しているが内容が一致していない場合を「難あり」、不具合を検知できなかった場合を「見逃し」として評価することとした。

以下に得られた知見を示す。

- ・表-6.2.9 に示す通り、不具合を正しく検知できていた「正解」は全体の 20%程度であり、不具合の内容が一致していない「難あり」を含めても 60%程度であった。
- ・表-6.2.10 にアンカーボルトの引張耐力が鋼材降伏荷重未満の不具合と検査技術ごとの検知性能評価を示すが、鋼材降伏荷重未満の不具合を全て検知できた検査技術はなかった。
- ・検証した 8 検査技術の耐力低下不具合の検知正答率を表-6.2.11、図-6.2.2 に示すが、「見逃し」が多かったのは鋼材長不足（10D→2.5D）と充填不足(大) 先端空洞であり、半数以上の検査技術が不具合を検知できていなかった。
- ・鋼材長不足（10D→2.5D）については、ボルト長を計測できる検査原理（打音法、超音波法）については、検知ができていたが、その他の検査技術については検知ができていなかった。この要因としては、ボルト単体の評価ではなく母体コンクリート等を介する応答値による検査技術の場合に健全と判断してしまう応答値がでてしまうことによるものと考えられる。
- ・同じ充填不足(大)でも空洞の発生箇所によって検知率に大きなばらつきが生じている。この要因としては、検知できなかった充填不足(大) 先端空洞は上向き施工を模擬した充填不足のためボルト先端部が空洞となっており、根元部が充填状態になっていることから検査機器の応答値が異なりすべて充填されているものと判断されているものと考えられる。

表-6.2.1 各検査技術の検知性能の評価 【技術A】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	空振	難あり			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
34		M24	下向き	下向き	削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し		
35					拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し		
36					健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価
	不具合	耐力	
無	無	無	正答
	有	有	正答
有	無	無	正答
		有	正答
		有(△)	空振
	有	無	見逃し
		有	正答
		有(△)	空振

凡例の解説

アンカーボルトの状態	検査結果	不具合	耐力	解説
				健全なアンカーボルト
不具合	無	無	無	不具合を模擬したアンカーボルト
	有	有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
検査結果	不具合	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
		有	有	不具合検知せず
		有(△)	有	検知した不具合の内容が一致
	判定	正答	有	検知した不具合の内容不一致
		空振	有	ボルトの状態と検査結果が一致
		見逃し	有	不具合無しを不具合有りと検知

表-6.2.2 各検査技術の検知性能の評価 【技術B】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂 カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ 19mm→φ 26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂 注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き (模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属 スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
34		削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し					
35		M24	下向き	下向き	拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり		
36					健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価	
	不具合	耐力		
無	無	不具合	正答	正解
		判定	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			不具合	判定
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
			有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
			有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	無	不具合検知せず
			有	検知した不具合の内容が一致
			有(△)	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	正答	ボルトの状態と検査結果が一致
			空振	不具合無しを不具合有りと検知
			見逃し	検知した不具合内容の不一致
判定	見逃し	無	不具合を検知できず	
		有	不具合を検知できず	

表-6.2.3 各検査技術の検知性能の評価 【技術C】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	有	正答	正解
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34		M24	下向き	削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
35				拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
36				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果			評価
	不具合	耐力	判定	
無	無	無	正答	正解
		有	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			判定	解説
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
		有	有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
		有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	無	不具合検知せず
		有	有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	有	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	有	ボルトの状態と検査結果が一致
		空振	有	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	有	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.4 各検査技術の検知性能の評価 【技術D】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
34		削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)		有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり				
35		M24		下向き	拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり		
36					健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果			評価
	不具合	耐力	判定	
無	無	無	正答	正解
		有	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	無	健全なアンカーボルト
		有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
		有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	不具合検知せず
		有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	ボルトの状態と検査結果が一致
		空振	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.5 各検査技術の検知性能の評価 【技術E】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
21				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	無	正答	正解			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34				削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	無	見逃し	見逃し			
35				拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
36	M24	健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解					

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果			評価
	不具合	耐力	判定	
無	無	無	正答	正解
		有	空振	難あり
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			判定	解説
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
		有	有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
		有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	無	不具合検知せず
		有	有	検知した不具合の内容が一致
		有(△)	有	検知した不具合の内容不一致
	判定	正答	有	ボルトの状態と検査結果が一致
		空振	有	不具合無しを不具合有りと検知
		見逃し	有	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.6 各検査技術の検知性能の評価 【技術G】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M16	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有	正答	正解			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
21				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M16	上向き	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	有	正答	正解
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有	正答	正解			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
34		削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)		有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり				
35		M24		下向き	拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し		
36					健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価	
	不具合	耐力		
無	無	無	正答	正解
		有	無	空振
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			不具合	判定
アンカーボルトの状態	不具合	無	健全なアンカーボルト	
		有	不具合を模擬したアンカーボルト	
検査結果	耐力	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満	
		有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上	
	不具合	無	不具合検知せず	
		有	検知した不具合の内容が一致	
		有(△)	検知した不具合の内容不一致	
	判定	正答	ボルトの状態と検査結果が一致	
		空振	不具合無しを不具合有りと検知	
		見逃し	検知した不具合内容の不一致	

表-6.2.7 各検査技術の検知性能の評価 【技術H】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有	正答	正解			
9				健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
16	樹脂注入	M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
21				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
24				上向き(模擬)	M18	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34		M24	下向き	下向き	削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり		
35					拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり		
36					健全	無	有	鋼材降伏	無	正答	正解		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価	
	不具合	耐力		
無	無	無	正答	正解
		有	無	空振
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	検査結果	不具合	耐力	解説
				健全なアンカーボルト
不具合	無	無	有	不具合を模擬したアンカーボルト
		有	有	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
検査結果	不具合	無	有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
		有	有	不具合検知せず
		有(△)	有	検知した不具合の内容が一致
	判定	正答	有	検知した不具合の内容不一致
		空振	有	ボルトの状態と検査結果が一致
		見逃し	有	不具合無しを不具合有りと検知

表-6.2.8 各検査技術の検知性能の評価 【技術 I】

No.	アンカーボルト			不具合の内容	模擬不具合の有無	引抜試験結果		検査結果		検知性能評価			
	種別	呼び径	向き			引張耐力	破壊形態	不具合	判定				
1	樹脂カプセル	M16	下向き	鋼材長不足(10D→30mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
2				鋼材長不足(10D→5D)	有	有	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し			
3				鋼材長不足(10D→2.5D)	有	無	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
4				鋼材破断	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
5				斜め削孔(5°)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
6				充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
7				充填不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
8				充填不足(大)口元空洞	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
9				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
10				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
11				付着不良	有	有	付着+コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
12				鋼材腐食(全面)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
13				削孔径大(φ19mm→φ26mm)	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
14				削孔長深(10D→12.5D)	有	有	鋼材降伏	有	正答	正解			
15				削孔長深	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
16	樹脂注入	M18	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
17				充填不足(中)口元空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり			
18				充填不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
19				硬化不良	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
20				付着不良	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
21				健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
22				充填不足(中)口元空洞、トルク50%	有	有	鋼材破断	無	見逃し	見逃し			
23				充填不足(中)口元空洞、トルク100%	有	有	鋼材降伏	無	見逃し	見逃し			
24				上向き(模擬)	M18	上向き(模擬)	充填不足(小)先端空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり
25							充填不足(中)先端空洞	有	有	鋼材破断	有(△)	空振	難あり
26							充填不足(大)先端空洞	有	無	付着+コーン破壊	無	見逃し	見逃し
27	M18	下向き	下向き	充填不足(小)口元空洞	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり			
28				なし(健全)	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり			
29				充てん不足(中)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
30				充てん不足(大)口元空洞	有	有	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
31	金属スリーブ	M16	下向き	健全	無	有	コーン破壊	有	空振	難あり			
32				拡張不足(半打込み)	有	有	コーン破壊	有(△)	空振	難あり			
33				削孔径大(φ22.5mm→φ26.5mm)	有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり			
34		削孔径大(φ33.0mm→φ38.0mm)		有	無	付着破壊	有(△)	空振	難あり				
35		M24		下向き	拡張不足(半打込み)	有	有	鋼材降伏	有(△)	空振	難あり		
36					健全	無	有	鋼材降伏	有	空振	難あり		

凡例

アンカーボルトの状態	検査結果		評価	
	不具合	耐力		
無	無	無	正答	正解
		有	無	空振
有	無	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり
	有	無	見逃し	見逃し
		有	正答	正解
		有(△)	空振	難あり

凡例の解説

アンカーボルトの状態	不具合	耐力	検査結果	
			不具合	判定
アンカーボルトの状態	不具合	無	無	健全なアンカーボルト
			有	不具合を模擬したアンカーボルト
検査結果	耐力	無	無	引張耐力が鋼材降伏荷重未満
			有	引張耐力が鋼材降伏荷重以上
	不具合	無	無	不具合検知せず
			有	検知した不具合の内容が一致
			有(△)	検知した不具合の内容不一致
			正答	ボルトの状態と検査結果が一致
	判定	空振	正答	不具合無しを不具合有りと検知
			見逃し	検知した不具合内容の不一致

表-6.2.9 検査技術別の検知性能評価（検知数の内訳）

検知性能評価	検査技術							
	技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
正解	3	6	11	12	13	14	4	1
難あり	14	11	8	3	1	11	26	31
見逃し	19	19	17	21	22	11	6	4
合計	36	36	36	36	36	36	36	36

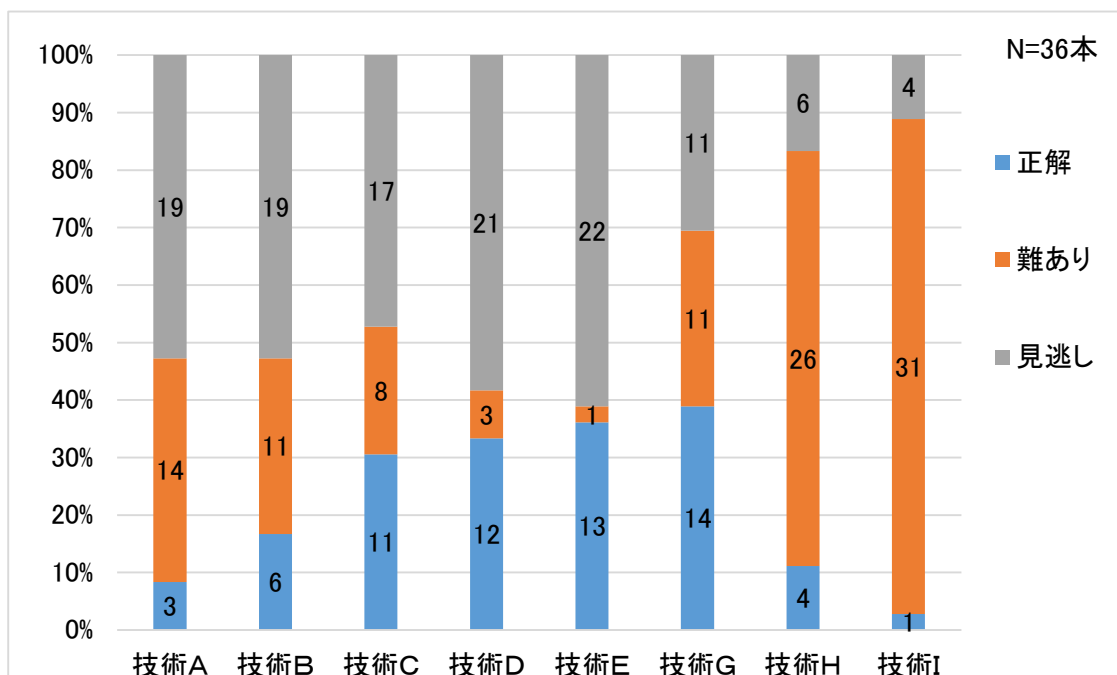


図-6.2.1 検査技術別の検知正答率

表-6.2.10 検査技術別の検知性能評価（不具合別）

供試体 No.	不具合の内容	検知性能評価							
		技術A	技術B	技術C	技術D	技術E	技術G	技術H	技術I
3	鋼材長不足 (10D→2.5D)	難あり	難あり	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	見逃し	難あり
8	充填不足(大口元空洞)	難あり	難あり	正解	正解	正解	正解	正解	難あり
20	付着不良	見逃し	見逃し	正解	正解	正解	難あり	難あり	難あり
26	充填不足(先端空洞)	見逃し	見逃し	正解	見逃し	見逃し	正解	難あり	見逃し
33	削孔径大 (φ 22.5mm→φ 26.5mm)	見逃し	見逃し	難あり	見逃し	難あり	正解	難あり	難あり
34	削孔径大 (φ 33.0mm→φ 38.0mm)	見逃し	見逃し	難あり	難あり	見逃し	難あり	難あり	難あり

表-6.2.11 耐力低下不具合別の検知性能評価

検知性能評価 耐力低下不具合	正解	難あり	見逃し
鋼材長不足(10D→2.5D)	0	3	5
充填不足(大) 口元空洞	5	3	0
付着不良	3	3	2
充填不足(大) 先端空洞	2	1	5
削孔径大(φ 22.5mm→φ 26.5mm)	1	4	3
削孔径大(φ 33.0mm→φ 38.0mm)	0	5	3

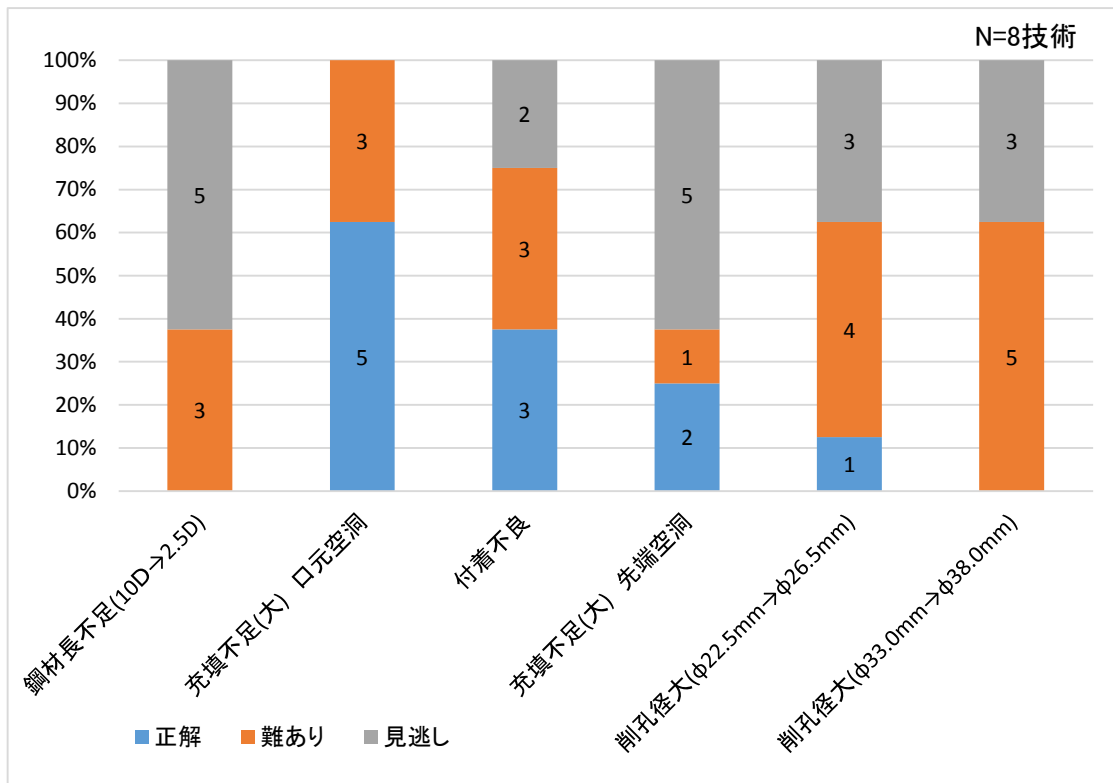


図-6.2.2 耐力低下不具合の検知正答率

6.2.2 非破壊検査技術に要求される不具合の検知性能

本章では、あと施工アンカーに模擬した不具合と引張耐力の関係について整理し、あと施工アンカーの引張耐力低下に影響する不具合とそれらの不具合に対する各非破壊検査技術に求められる検知性能について考察を行った。

1)不具合を模擬したあと施工アンカーの引張試験を行い、それぞれの不具合があと施工アンカーの引張耐力に及ぼす影響を検証した。その結果、アンカーの鋼材降伏耐力を下回る不具合は、接着系アンカーで「鋼材長不足 (10D→2.5D)」、「充填不足 (大) 口元空洞」、「付着不良」、「充填不足 (大) 先端空洞」、金属系アンカーで「削孔径大 ($\phi 22.5\text{mm}$ → $\phi 26.5\text{mm}$)」、「削孔径大 ($\phi 33.0\text{mm}$ → $\phi 38.0\text{mm}$)」であった。これらの要因は、接着系アンカーではコンクリートのせん断抵抗面積が減少するため、金属系アンカーでは拡張による固着が十分に行われなかったためと考えられる。

しかし、今回模擬した不具合の中には、必ずしも引張耐力は低下せず、健全なアンカーと同等の引張耐力を有しているものもあった。実構造物においては母材コンクリートの状態やあと施工アンカー定着部の状況などの様々な条件が複合し、不具合内容と引張耐力の低下は一致しない可能性があると考えられ、引張耐力と不具合の関係性を明確にすることは困難であると考えられる。

2)引張試験結果から大幅にアンカーの引張耐力が低下する不具合はある程度推定されるものの、実際のあと施工アンカーの施工条件や施工対象の母体コンクリートの状態等の様々な条件により不具合の状態は異なり、耐力の低下度も異なる。そのため、非破壊検査技術で検知すべき不具合の内容を耐力との関係で絞り込むなど特定することは困難である。

3)各不具合に対する非破壊検査結果と引張試験の結果から、引張耐力に影響を及ぼす不具合の検知性能について検証した。アンカーの鋼材降伏耐力を下回る不具合は重大な事故を引き起こす可能性があるため、非破壊検査で検知できることが望ましい。しかし、健全なアンカーについてはほとんどの検査技術で正答していたのに対し、鋼材降伏耐力を下回る不具合を全て検知できた検査技術はなかった。

以上を踏まえると、非破壊検査においては、不具合の種類や内容、精度を正確に得ることまでは求めず、少なくとも「不具合の有無の判定に必要な情報が得られること」が、現状における非破壊検査技術に対する要求性能の限界であると考えられる。

【第 6 章 参考文献】

- 1) 道路橋支承便覧、(社) 日本道路協会、平成 16 年 4 月
- 2) あと施工アンカー試験方法、(社) 日本建築あと施工アンカー協会 (JCAA)、平成 19 年 8 月

