接着系あと施工アンカー施工時の孔内清掃および定着長が打撃応答特性に及ぼす影響

長岡工業高等専門学校　学生会員　○三島　慎作
長岡工業高等専門学校　学生会員　舟波　尚哉
長岡工業高等専門学校　正会員　村上　祐貴

1. はじめに

2012 年 12 月 2 日，中央自動車道上り線笹子トンネルにて天井板崩落事故が発生した．事故後，日本コンクリート工学会では，あと施工アンカーの耐久性評価手法の確立に焦点を当て，2014 年に「あと施工アンカーの耐久性の評価方法の確立と設計の高度化研究委員会」が発足され，あと施工アンカーの諸性能に関する知見の整理がなされた[1)]．

本研究では，未だ議論が十分に尽くされていない，接着系あと施工アンカーの打撃試験による付着性能評価を目的として，アンカーボルトの定着長，アンカー孔内の清掃の有無が，付着性能に及ぼす影響について実験的に評価するとともに，それら付着影響因子が打撃応答特性に及ぼす影響について検討した．

2. 実験概要

試験体寸法は，断面 200mm×200mm，高さ 200mm の角柱試験体である．試験体中心部を直径 19mm のドリルで所定の深さまで削孔し，エポキシアクリレート樹脂を主剤とするカプセル式樹脂アンカーを孔内に挿入した．その後，ハンマードリルを用いて M16 アンカーボルト（長さ 250mm）に回転・打撃を加えて所定の深さまで埋め込み，固定化するまで静置した．各試験体の試験時の材齢は異なるが，試験期間材齢中の圧縮強度は，43.0N/mm^2～45.0N/mm^2 の範囲内であり，実験結果に及ぼす影響は小さいものと考える．

実験パラメータを**表－1** に示す．各パラメータにつき，試験体は 3 体作製した．アンカーボルトの静的引張荷重載荷試験はアンカーボルト挿入から 2 日以上経過後に載荷を開始した．また，打撃試験は，引張荷重載荷試験直前に実施した．打撃試験ではインパルスハンマー（周波数範囲：0～8000Hz，測定範囲：2200N）を用いて試験体を加振し， 振動応答を加速度センサー（周波数範囲：0.3Hz～20×10^{3}Hz，最大使用加速度：4900m/sec^2）で受信した．計測におけるサンプリング周波数は 25.6×10^3 Hz ，データ数は 4096 とし，周波数応答関数は，5 回の打撃によるパワースペクトル可算平均を採用した．加速度センサーは試験体上面から 80mm の高さの位置でアンカーボルトに取付けられたにダブルナットの上側ナットの側面に，両面粘着テープを用いて密着させた．試験体上面から 50mm の高さの位置でアンカーボルト側部をインパルスハンマーで水平に打撃した．打撃試験は 100mm×100mm，厚さ 9mm の鋼製プレートを試験体端面に設置し，デジタルトルクレンチを用いてワッシャーとナットでアンカーボルトを締結し，打撃試験を実施した．締め付けトルクの大きさは 0N・m，35N・m および 70N・m の 3 水準とした．

3. 実験結果

3.1 静的引張荷重載荷試験結果

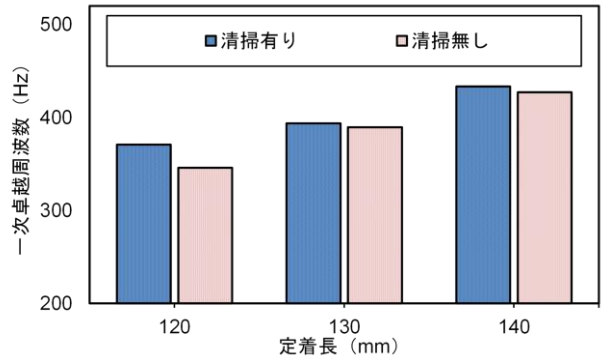
静的引張荷重載荷試験結果を**表－1** に示す．S シリーズ試験体の破壊形態は，S-B120 試験体を除き，鉄筋破

表－1　実験パラメータおよび引張荷重載荷試験結果

荷重種別	試験体シリーズ	孔内清掃	定着長（mm）	載荷試験時材齢（日）	締め付けトルク量 (kN・m)	平均最大荷重 (kN)※1	変動係数 (%)	破壊形態
静的 (Sシリーズ)	S-A120	有	120	190	0,35,70	71.3	1.58	破断
	S-A130	有	130	190		71.3	1.43	破断
	S-A140	有	140	190		72.0	0.32	破断
	S-B120	無	120	213		67.7	2.30	引き抜け
	S-B130	無	130	213		70.9	1.08	破断
	S-B140	無	140	213		71.9	1.31	破断

※1　試験体 3 体の平均値

キーワード　接着系あと施工アンカー，周波数応答関数，打撃試験，付着強度
連絡先　〒940-8532　新潟県長岡市西片貝町 888 番地　長岡工業高等専門学校　TEL　0258-34-9276



図－1　各定着長における一次卓越周波数

断であった．最も定着長が短く，孔内清掃を施していない S-B120 試験体では全試験体で引き抜け破壊が生じた．S-B120 試験体シリーズの最大荷重は， S-A120 試験体シリーズの平均最大荷重に比べ, 約 5.0%低下した．このように孔内清掃を施していない孔壁では，アンカーボルトあるいは，コンクリートとの樹脂の付着性能の低下に繋がることが確認された．

3.2 打撃試験結果

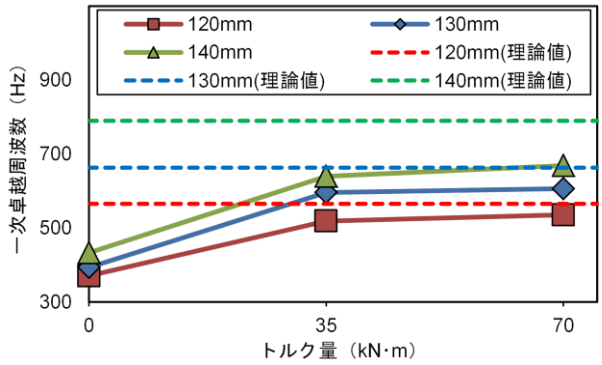
図－1 に各定着長における一次卓越周波数の平均値を示す．静的引張荷重載荷試験でボルト破断を生じた定着長 130mm と 140mm の場合，清掃の有無による一次卓越周波数に明確な差異は生じていなかった．一方，定着長 120mm の場合では，清掃有りの S-A120 試験体に比べて，清掃無しの S-B120 試験体の卓越周波数が約 7%低下した．引張荷重載荷試験において，S-B120 試験体では引き抜け破壊が生じ，付着強度の低下が確認されており，アンカーボルトの定着不良による影響が一次卓越周波数に現れたと考えられる．

図－2 に各トルク量における一次卓越周波数と理論値（一次固有振動数）を示す．各定着長の理論値は，アンカーボルト突出部のコンクリートとの境界部を固定，突出部先端を自由として，式(1)より算出した．

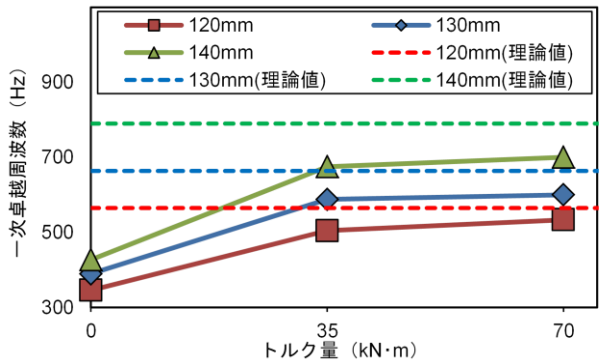
$$f = \frac{1}{2\pi}\frac{\lambda^2}{L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \qquad (1)$$

ここで，λ 値：1.875，L：突出長（110mm～130mm），E：ヤング係数（200000N/mm^2），I：断面二次モーメント（1798.4mm^4），ρ：密度（7.865g/cm^3），A：断面面積（157mm^2）である．

各試験体の周波数応答関数における一次卓越周波数は，いずれも理論値の値を下回った．また，定着長が長いほど，理論値からの低下割合が大きくなった．これより，トルクを導入していないため試験体端面より深部まで振動していることが推察される．



（a）　清掃有りの場合



（b）　清掃無しの場合

図－2　各トルク量における一次卓越周波数

また，孔内清掃の有無によらずトルク量の増加にしたがい，一次卓越周波数が高周波側にシフトし，理論値に近づく結果となった．これは，トルクの導入によって，アンカーボルト突出部の下端部が固定され，アンカーボルトの振動特性が，突出部分のアンカーボルトの振動特性に近づくためであると考えられる．なお，本実験の範囲内では，トルクの導入による卓越周波数の変化に孔内清掃の有無の影響は確認されなかった．

4. まとめ

(1) 本実験の範囲内では，定着長が標準施工の約 92%の場合，孔内清掃を行わないことによる最大荷重の低下が認められた．

(2) トルク量の増加に従い卓越周波数は，理論値に近づいた．これは，トルクの導入によって，アンカーボルト突出部の下端部が固定され，アンカーボルトの振動特性が，突出部分のアンカーボルトの振動特性になるためであると考えられる．

参考文献

1) 日本コンクリート工学会：あと施工アンカーの耐久性評価と設計方法の高度化研究委員会報告書，2016