

論文 あと施工アンカーの耐振動性に関する実験的検討

井口 重信*¹・菅原 寛文*²・倉岡 希樹*²

要旨：あと施工アンカーを打設した RC スラブ板を上下および水平に加振することで、あと施工アンカーの耐振動性を実験的に確認した。鉛直加振で 4,780 万回、水平加振で 6,550 万回の加振試験を実施したが、打音および触診ではあと施工アンカーやナットの緩みは確認されなかった。一方、加速度振幅では鉛直加振で 1.17 倍、水平加振で 2.36 倍まで増大するものが見られた。固有周波数では鉛直加振で 5%、水平加振で 40%程度低下するものが見られた。

キーワード：あと施工アンカー、振動、衝撃振動試験

1. はじめに

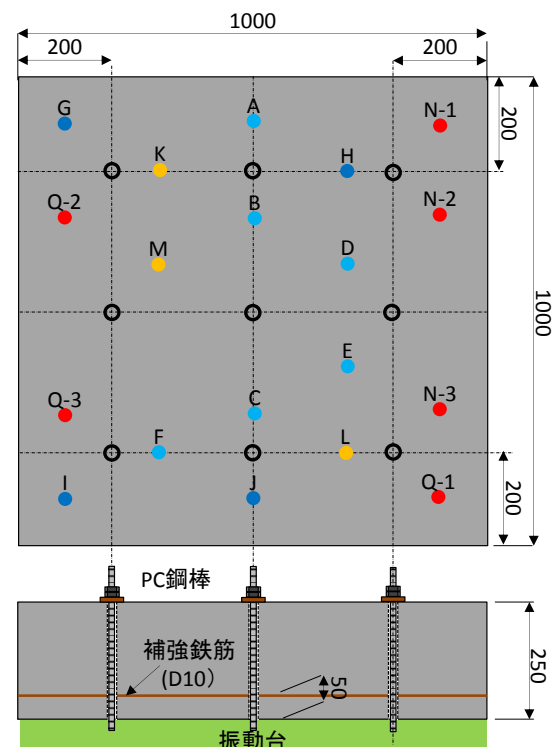
あと施工アンカーの耐久性については、近年、各箇所において研究が進められているが、耐振動性に関する知見は未だに少ない¹⁾。鉄道構造物を例にとってみても、図-1 に示すように列車風圧や列車振動等の影響を受ける付帯構造物は数多くあり、それらを固定するために用いられているあと施工アンカーには常に振動が加わっている。これらのあと施工アンカーに振動によって作用する力は、あと施工アンカーの引抜き耐力やせん断耐力と比較すると非常に小さいものと思われるが、実構造物では緩みや脱落を生じるアンカーが散見される。しかし、あと施工アンカーの耐振動性を確認するための試験方法や判断指標などは少なく、過去の経験から使用の可否を決めているのがほとんどである。そこで、あと施工アンカーの耐振動特性を把握するため、模型試験体を用いた実験的な検討を行ったので以下に述べる。

2. 試験概要

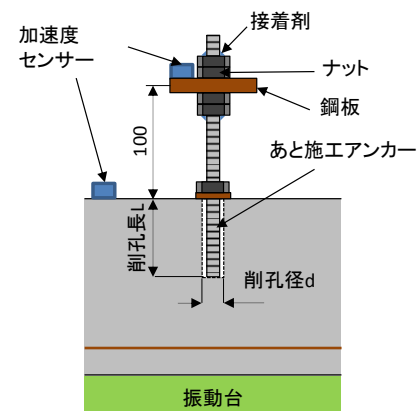
2.1 試験体



図-1 振動を受けるあと施工アンカーの例（検討対象）



(a) 全体一般図



(b) あと施工アンカー部詳細図

図-2 試験体略図

*1 東日本旅客鉄道（株） 上信越工事事務所（正会員）

*2 東日本旅客鉄道（株） 構造技術センター（正会員）

表-1 あと施工アンカー諸元

記号	分類	形式	略図	削孔径 d [※] (mm)	削孔長 L [※] (mm)	アンカー 根本
A	金属系 (拡張)	芯棒打込み式		12.7	62	ナット止め
B		締付け方式 (コンナット方式)		18	70	ナット止め
C		締付け方式 (テーパーボルト式)		16.5	83	ナット止め
D		スリーブ打込み式		18	65	ナット止め
E		スリーブ打込み式		18	56	ナット止め
F		ウェッジ式		12	95	ナット止め
G	金属系 (拡張)	拡張		22	120	ナット止め
H		拡張		22.5	100.8	ナット止め
I		拡張		22	107	ナット止め
J		拡張		18	68	ナット止め
K	接着系	有機(ガラス管、 不飽和ポリエステル 樹脂)		14.5	72	ナット無し
L		無機(紙袋、 セメントモルタル)		16	108	ナット無し
M		無機(紙袋、 セメントモルタル)		14.5	100	ナット無し
N-1	金属系 (その他)	その他 (樹脂充填なし)		21.5	120	ナット止め
N-2						
N-3						
Q-1		その他 (樹脂充填あり)		21.5	120	ナット止め
Q-2						
Q-3						

※削孔径dおよび削孔長Lは設計値

図-2 に試験体の概要を示す。あと施工アンカーを打設した試験体は、幅 1000mm×長さ 1000mm×厚さ 250mm の RC スラブ板で、水平加振用と鉛直加振用に 2 体を製作した。試験体上面に互いに干渉しないように隔離を設けて A~Q-3 の 19 本のあと施工アンカーを打設した。実物はあと施工アンカーにより固定する対象物によりあと施工アンカーの打設向きは異なるが、本試験では穿孔および打設ともに下向きに統一して実施した。打設したあと施工アンカーのアンカー筋上部には、慣性力の負荷となる厚さ 10mm、辺長 60mm の正方形形状で、重量約 270g の鋼板を RC スラブ板上面から 100mm の位置に取り付けた。鋼板の重量は、慣性力を静的に引抜あるいはせん断方向に載荷した場合にアンカー筋(SNB7)が降伏しない範囲として設定した。鋼板は上下のダブルナットで行い、ナットの締結時にはナットとアンカー筋の境界部に接着剤を塗布して緩み止めを行った。

表-1 に試験で使用したあと施工アンカーの諸元を示す。あと施工アンカーの選定には、振動に弱いとされている金属系拡張アンカーを中心に、金属系拡張アンカー、

表-2 加振パターン

加振パターン(鉛直)				加振パターン(水平)			
載荷 順序	加速度 (G)	周波数 (Hz)	回数 ($\times 10^5$ 回)	載荷 順序	加速度 (G)	周波数 (Hz)	回数 ($\times 10^5$ 回)
衝撃応答試験（加振前）				衝撃応答試験（加振前）			
1	1	10	80	1	1	10	80
2		30	200	2		30	200
3		5	40	3		50	1,000
4		50	1,000	衝撃応答試験（1G後）			
衝撃応答試験（1G後）				4	2	30	200
5	2	10	80	5		10	1,000
6		30	300	6		70	700
7		50	1,000	7		50	1,000
衝撃応答試験（2G後）				衝撃応答試験（2G後）			
8	4	10	80	8	4	30	200
9		30	300	9		10	100
10		70	700	10		70	70
11		50	1,000	11		50	1,000
衝撃応答試験（4G後）				衝撃応答試験（4G後）			
合計回数			4,780	12	6	50	1,000
				衝撃応答試験（6G後）			
				合計回数			6,550



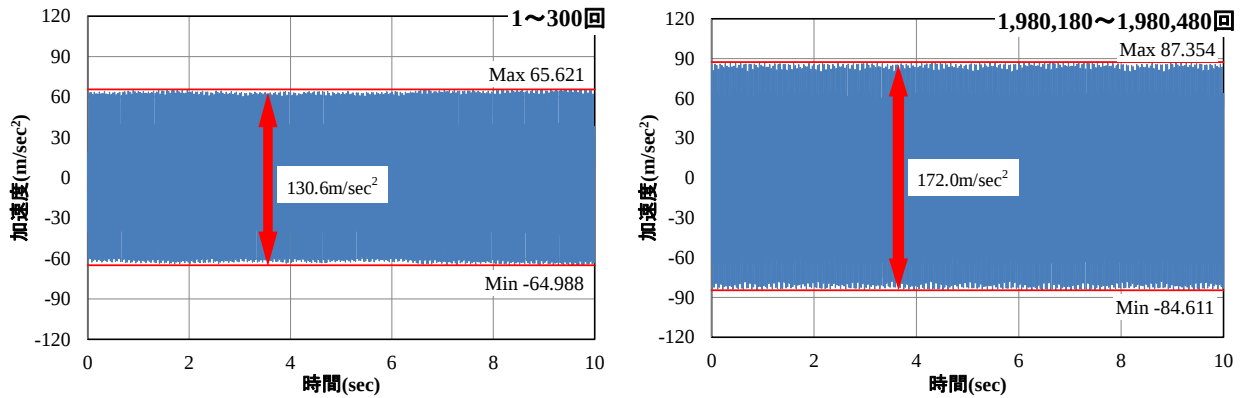
図-3 衝撃振動試験の状況(鉛直加振時)

接着系アンカー、および金属系でも耐荷機構の異なるアンカーなどから代表的なものを選定した。製品 N-1~N-3 および製品 Q-1~Q-3 は同一諸元のアンカーで、本試験方法の結果の再現性を確認する目的で 3 本ずつ用意した。あと施工アンカーの諸元はアンカー筋径を M12 としたほかは、削孔径 d、削孔長 L などの諸元は各製品の推奨値に合わせた。また、金属系のアンカーについてはトルク等により耐荷機構を発するものもあるため、アンカー筋根本部分をナット止めとし、接着系アンカーの製品 K、L、M についてはナット止めはしなかった。

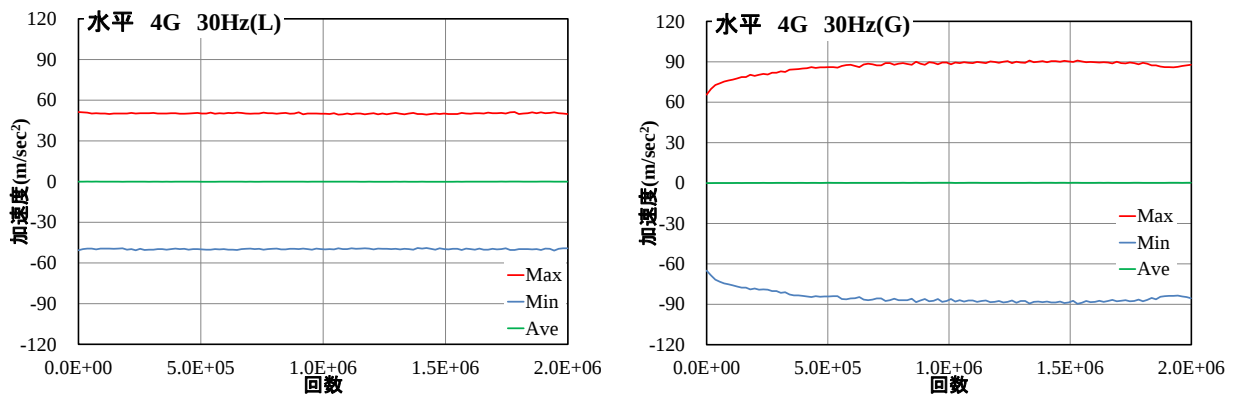
2.2 加振試験

あと施工アンカーを打設した試験体を、9 本の PC 鋼棒およびナットを用いて振動台に固定した。その後、各アンカーに取り付けた鋼板端部および試験体端部に加速度センサーを設置し加振時の加速度を逐次測定した。

加振試験は水平、鉛直の 2 方向で、表-2 に示す加振パターンで行った。図-1 に示すような用途のあと施工アンカーに作用する振動の加速度および周期についての知見がないことから、今回は、試験装置で載荷可能な範



図－4 加速度波形の例（水平加振 4G 30Hz 製品 G）



図－5 加速度の最大値・最低値・平均値推移（水平加振 4G 30Hz 左：製品 L、右：製品 G）

囲から加速度については1G～6G、周波数については5Hz～70Hzの間で加振した。加振は加速度制御で行い正弦波にて最大加速度、周波数を設定して行った。各加振ケースが終わるごとに触診および打音で各アンカー筋に取り付けたナットの緩みを確認し、緩みがあれば締め直して次の加振ケースに進むこととした。なお、実際にはいずれのアンカーにおいても加振中にナットの緩みは確認されなかったため締め直し等は行わなかった。

2.3 衝撃振動試験

加振試験の前および加振加速度が変わるごとに、アンカー筋上部をハンマーで打撃し衝撃振動試験を実施した。図－3 に衝撃振動試験の実施状況を示す。鉛直加振試験の試験体については鉛直方向に、水平加振試験の試験体については水平方向に打撃した。衝撃振動試験は各3回実施しあと施工アンカーの健全性を把握した。

3. 試験結果

3.1 加振試験

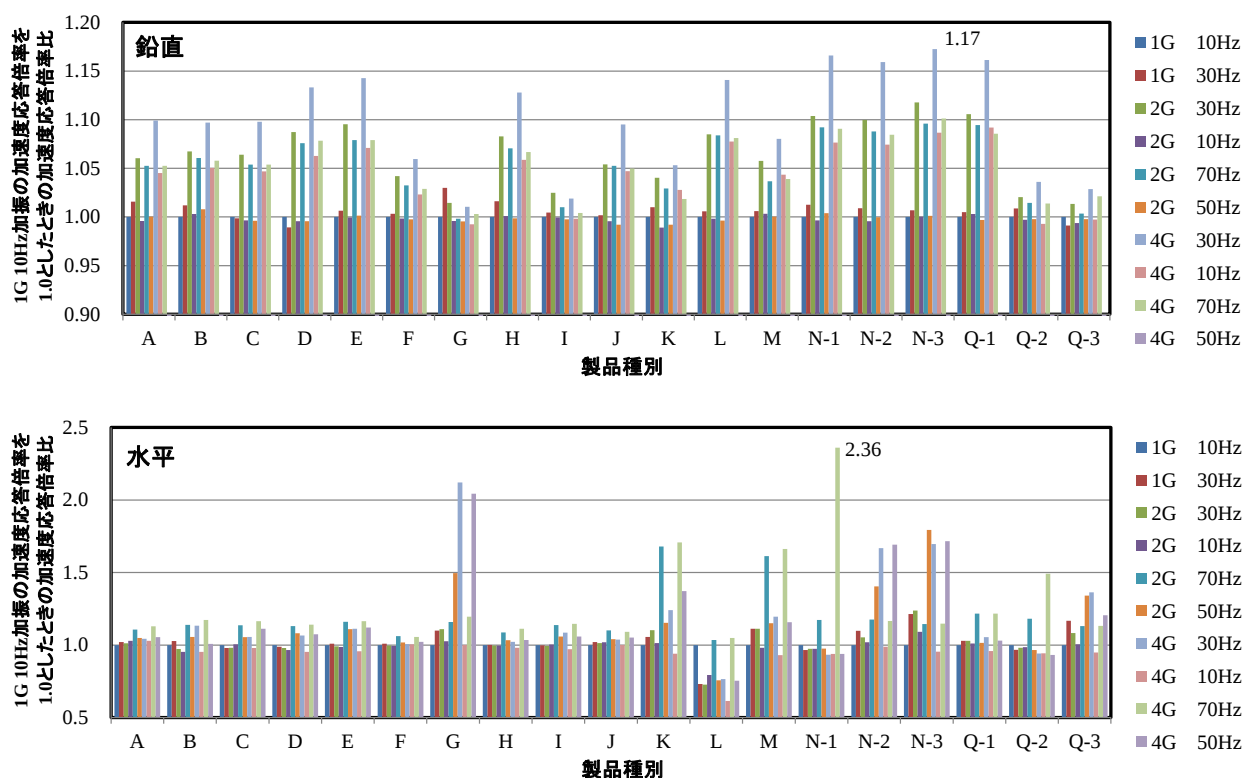
図－4 に水平加振 4G 30Hz における製品 G の加速度波形を示す。図－4(左)は加振初期の 1～300 回時、図－4(右)は加振終盤の 1,980,180～1,980,480 回時の加速度波形である。試験体の加振加速度は 39.2m/sec^2 (4G) であ

るが、アンカー筋天端では最大で 65.6m/sec^2 の加速度となることから増幅されていることが分かる。また、加振初期には最大で約 131m/sec^2 の加速度振幅であったが、加振終盤では約 172m/sec^2 と約 1.3 倍に大きくなっており、加振による影響が現れた。

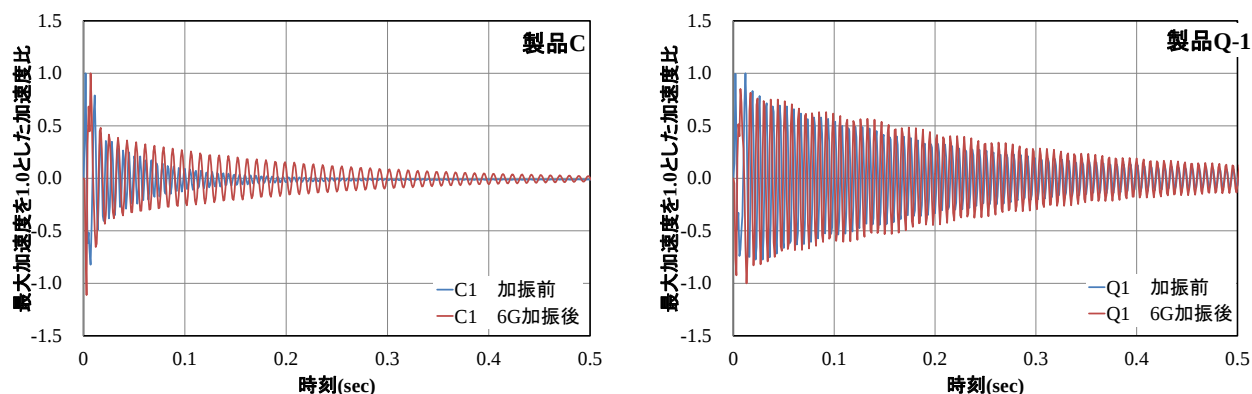
加速度データの取得は 10 分ごとに 10 秒間ずつ行ったため、10 秒間における加速度の最大値、最小値および平均値の推移を図－5 に示す。製品 L では加振中に加速度の最大値、最小値および平均値の変動がほとんどなかったが、製品 G では加振開始から 1.0×10^6 回の間で加速度振幅が徐々に増大していった。平均値についてはほとんど変動がなかった。

各アンカーの加速度振幅の最大値を試験体の加速度振幅の最大値で除して算出した加速度応答倍率は各アンカーの諸元により異なるため、最初の加振である 1G 10Hz 加振時の加速度応答倍率を 1.0 としたときの各アンカーの加速度応答倍率の比を図－6 に示す。

鉛直加振では、多くの製品において、4G 30Hz 加振の時に同一製品中で加速度応答倍率が最大となっており、大きく変化が現れており、加振による負荷が大きかったものと思われる。また、製品同士で比較すると、金属系拵底の製品 G、I、金属系その他の Q-2、Q-3 などが加速度応答倍率の変化が小さく、加振による影響が小さかつ



図－6 初回加振（1G 10Hz）加振時の加速度応答倍率を 1.0 としたときの加速度応答倍率比（上：鉛直，下：水平）



図－7 水平加振前後における衝撃振動試験の加速度波形の例（左：製品 C，右：製品 Q-1）

たものと推察される。

水平加振では、製品ごとに加速度応答倍率が最大となる加振加速度や周期に、目立った特徴は見られなかった。また、製品同士では、接着系の製品 L が他の製品よりも加速度応答倍率が低い傾向にあり、金属系拵底の製品 G、金属系その他の製品 N など高い傾向のものが多かった。

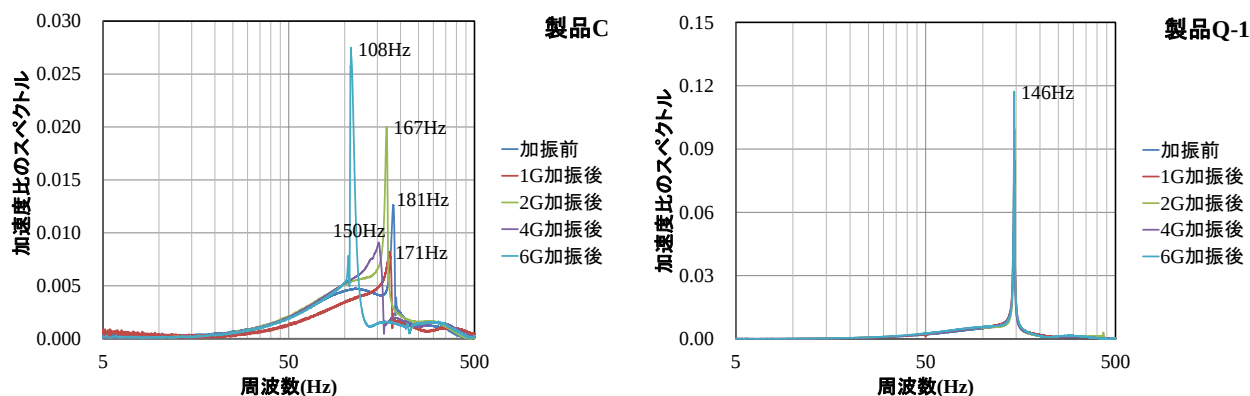
同一諸元で試験を行った製品 N-1～N-3、Q-1～Q-3 の差を見ると、鉛直加振では製品 N-1～N-3 についてはいずれも同じような加速度応答倍率となったが、製品 Q-1～Q-3 では製品 Q-1 のみ傾向が異なった。一方、水平加振ではいずれも、同じ傾向とは言い難く、個体差が現れたものと思われる。

鉛直加振と水平加振で比較すると、鉛直加振では最大でも 1.17 程度なのに対し、水平加振では 2.36 程度まで大

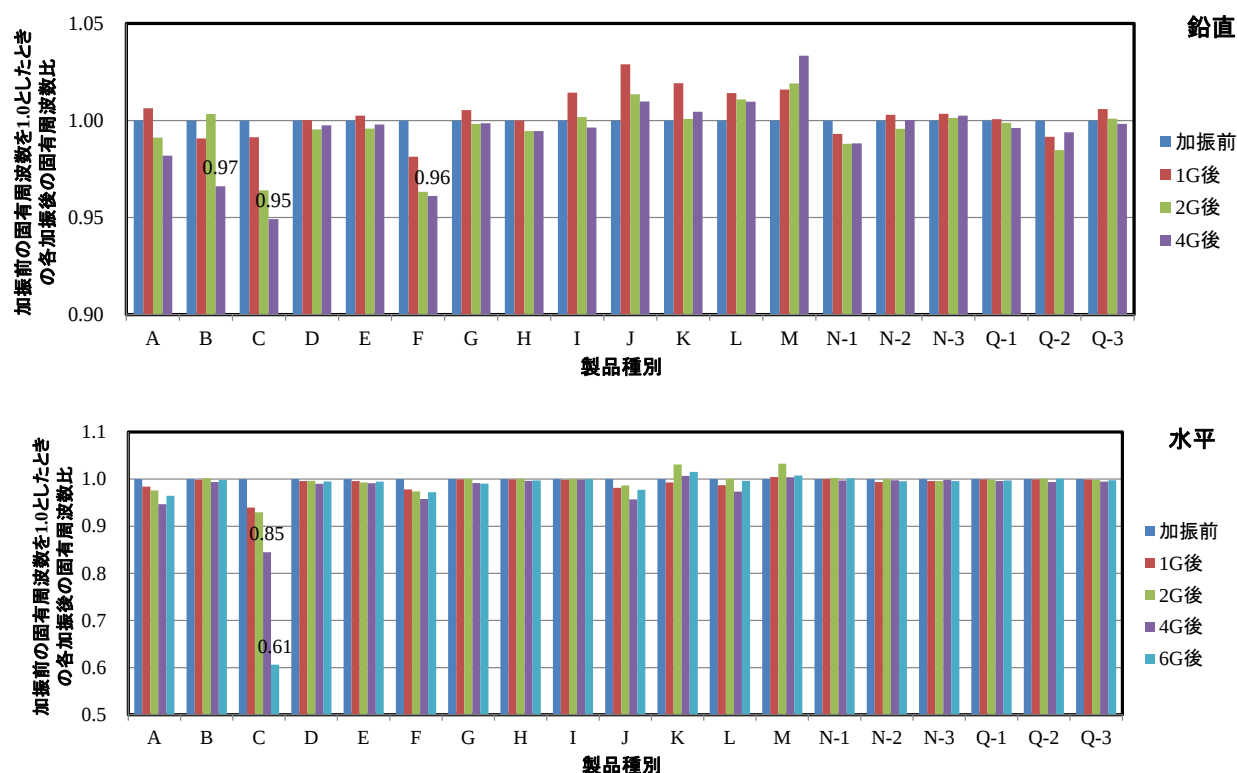
きくなっており、水平加振のほうが変化が大きく現れた。

3.2 衝撃振動試験

図－7 に製品 C および製品 Q-1 の水平加振前後における衝撃振動試験（1 回目）の加速度波形を示す、なお、Y 軸の値は各波形で加速度の絶対値が最大の加速度を 1.0 としたときの加速度の比を表している。製品 C では、加振前よりも加振後のほうが周期が伸び、減衰が小さくなる波形となった。一方、製品 Q-1 では、周期はほとんど変化がなく減衰のみ小さくなったが、減衰の減少率も製品 C に比較して小さかった。このことから、製品 C は加振の影響によりアンカー先端の固着部あるいは試験体天端位置での締め付けナットの緩みが生じていたものと推測され、製品 Q-1 についてはそれが生じていなかったも



図－8 水平加振前後における衝撃振動試験のフーリエスペクトルの例（左：製品 C，右：製品 Q-1）



図－9 加振前の固有周波数を 1.0 としたときの各加振後の固有周波数比（上：鉛直，下：水平）

のと思われる。

図－8 に水平加振前後での図－7 の方法と同様に求めた加速度比の時刻歴をフーリエ変換したスペクトル波形を示す。製品 C では、加振加速度が増えるごとにスペクトルの絶対値が最大となる周波数（以下、固有周波数）が小さくなり、4G から 6G へ変わった際に最も減少したが、製品 Q-1 では固有周波数の変化はほとんどなかった。また、スペクトルの絶対値は、製品 C よりも製品 Q-1 のほうが大きくなった。

図－9 に各加振後の固有周波数の推移を示す。ここでの固有周波数は、各アンカーにおける 3 回の衝撃振動試験結果の平均値とした。鉛直加振では、金属系拡張の製品 C で 5%程度減少したほか、同じく金属系拡張の製品 A, B, D で加振ステップごとに固有周波数が減少してい

く結果となった。水平加振では、金属系拡張の製品 C において固有周波数の大きな減少が見られ、6G 加振後には加振前の 61%程度まで固有周波数が低下しており、顕著に変化が現れた。固有周波数の低下率では鉛直加振に比較し水平加振のほうが低下率が大きいものが多かった。

4. 考察

衝撃振動試験の結果、固有周波数の低下が顕著であった水平加振時の製品 C を対象に、固着状況がどの程度であったものかを推定するため、あと施工アンカーを 1 質点系モデルに置換して検討した。図－10 にモデル化の概要を示す。加振前は試験体天端位置のナットが締結された状態であることから、天端位置を固定端として振動すると仮定し、固定端と質点の距離 $L=100\text{mm}$ 、質量 $M=$

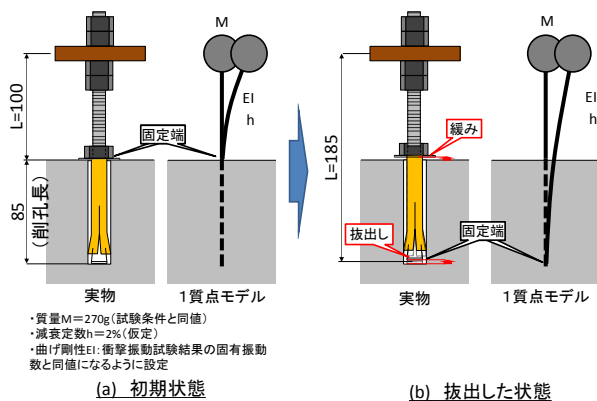


図-10 1 質点系モデル

270g, 減衰定数 $h=2\%$ として, 固有周波数が製品 C の加振前固有周波数 (181Hz) になるようにアンカー鋼材部分の剛性 EI を調整して作成した。

加振後は, あと施工アンカー先端の定着部分が加振の影響により上方へ抜出したと想定すると, 試験体天端位置で締め付けていたナットが緩み, アンカー筋下端部を固定端として振動するようになると推定できる。そのため, 固定端と質点との距離が $L=185\text{mm}$ に変化したと考えられる。

図-11 に 1 質点系モデルにより算出した加速度フーリエスペクトルを示す。加振前には 181Hz だった固有周波数が, 加振によりアンカー筋先端部を固定点として振動することにより 72Hz (約 40%) まで低下する結果となった。加振試験結果では 6G 载荷後に加振前の 61% までの固有周波数が低下していたことから, 今回モデル化した程度までの緩みは発生していなかったものと想定される。

5. おわりに

あと施工アンカーの耐振動性を確認するため, 模型試験体による実験的検討を行ったところ, 以下のことが分かった。

- (1) 鉛直加振で 4,780 万回, 水平加振で 6,550 万回の加振を実施したが, 本試験条件の範囲では, あと施工アンカーやナットの緩みは見られなかった。
- (2) 加振試験により加速度振幅で, 鉛直加振では 1.17 倍, 水平加振では 2.3 倍程度まで加速度振幅が増大したものがあつた。
- (3) 鉛直加振では, 金属系拡張アンカー G, I, 金属系その他アンカー (樹脂充填あり) Q-2, Q-3 で加速度振幅の変化が小さかった。
- (4) 水平加振では, 接着系アンカー L で加速度応答倍率が小さく, 金属系拡張アンカー G, 金属系その他のアンカー (樹脂充填なし) G で, 加速度応答倍率の変化が大きかった。
- (5) 鉛直加振と水平加振では, 水平加振のほうが加速度

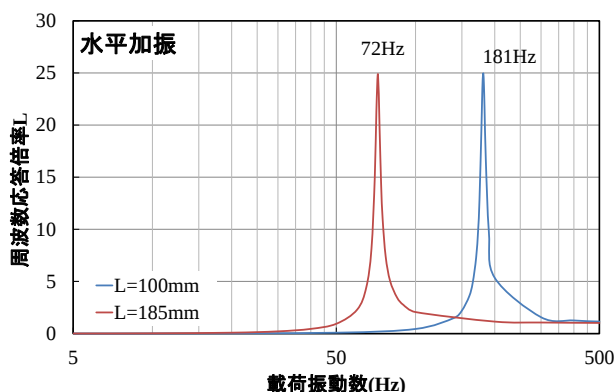


図-11 1 質点系モデルでのフーリエスペクトル

応答倍率の増大率が大きく, 相対的に負荷が大きかったものと思われる。

- (6) 加振前後の衝撃振動試験により, 鉛直加振では金属系拡張 B, C および F で, 水平加振では金属系拡張 A, C, F, および金属系拡張底 J において周期が伸び, 減衰が小さくなる傾向が顕著に見られた。
- (7) 加振前後の固有周波数は, 鉛直加振では金属系拡張アンカー B, C および F で 3~5% 程度, 水平加振では金属系拡張アンカー C で 39% 程度低下した。
- (8) あと施工アンカー根本 (試験体天端) 位置でのトルクの締め付けにより耐荷機構を発するようなアンカーでは, ナットの緩みにより固有周波数の低下が 35% までであると推察されるが, 今回の試験範囲では 60% 程度までの低下となり, 完全にナットの締結効果が失われた状態までは達していなかったものと思われる。

今回の試験範囲では, 完全にあと施工アンカーの定着機構が失われる製品は見られなかったことから, 加速度振幅あるいは固有周波数の変化がほとんど見られなかったあと施工アンカーについては, 一定の耐振動性を有しているものと思われる。また, 今回実施したような試験方法で, 一定程度あと施工アンカーの耐振動性を評価可能なものと思われる。今後, 本検討があと施工アンカーの耐振動性確認方法の確立ならびに, 耐振動性の高いあと施工アンカーの開発の参考になれば幸いである。

謝辞

本検討は, 日本建築あと施工アンカー協会 (JCAA), ならびに協会加盟の各あと施工アンカーメーカーの協力により実施できたものである。記して謝辞としたい。

参考文献

- 1) 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報告書, 日本コンクリート工学会, 2016。