

あと施工アンカーの疲労載荷試験に関する一考察

東日本旅客鉄道(株)	東北工事事務所	正会員	○中村 光宏
東日本旅客鉄道(株)	構造技術センター	正会員	菅原 寛文
東日本旅客鉄道(株)	構造技術センター	正会員	井口 重信
東日本旅客鉄道(株)	東北工事事務所	正会員	田附 伸一

1. 目的

あと施工アンカーは、埋め込むコンクリートへの固着方法により、接着系アンカーと金属系アンカーに大別されるが、長期間にわたってコンクリート中に埋設されるものが多いため、使用に際しては耐久性の評価が重要となる。しかし、具体的な評価方法について、あと施工アンカー工法の設計・施工指針(案)¹⁾、各種合成構造設計指針・同解説²⁾では、試験方法や結果の詳細までは明確になっておらず、ETAG³⁾やACI⁴⁾といった欧米の基準で一部基準化されているのみとなっている。

本稿では、耐久性の評価項目の一つである耐疲労性に着目して繰返し載荷試験(以下、疲労載荷試験という)を行い、アンカーの固着方法ごとに疲労の影響を検討したので、以下にその結果を記述する。

2. 試験概要

(1) 試験体

試験体の概要を図-1に示す。試験体径400mm、試験体高さ250mmとし、製作にあたっては、紙製の円形ポイド管に設計基準強度 24N/mm^2 のコンクリートを打込み、中央部にあと施工アンカーを固着させる方法を採用した。アンカー筋の仕様は、PC鋼棒SBPD930/1080(JIS G3137)引張降伏強度 $1,080\text{N/mm}^2$ のM20とし、先端部は図-1に示すように、45度カットしたものをを用いた。接着系のアンカー筋の施工は、ハンマードリルで削孔径 $d=25\text{mm}$ 、定着長 100mm 、削孔長 120mm となるように下向きに穿孔し、アンカー筋の設置及び接着剤の注入についても下向きで行った。

アンカー筋の固着方法について、接着系アンカーでは、接着剤として有機系材料(a: エポキシアクリレート)と無機系材料(b: セメント)を1種類ずつ選定し、充填方法はいずれもカプセル方式とした。金属系アンカーでは、図-2に示すように、コンクリート埋設側の先端形状が異なる2種類のアンカー(c: 拡張, d: 拡張底)を選定した。

試験体の諸元及び載荷条件を表-1に示す。本稿では、アンカー筋の固着方法のみをパラメータとし、載荷振幅は、静的載荷試験のみ実施するもの及び基準荷重 P_{rk} との比率を示している。

(2) 試験方法

試験方法の概要を図-3に示す。疲労載荷試験を行うにあたり、まず静的載荷試験を実施し、最大荷重を疲労載荷時の基準荷重 P_{rk} に設定するとともに、最大荷重時抜き出し量、破壊形態を記録した。載荷時は、パラメータによる耐力の違いを確認するため、試験体と載荷フレームの間に孔径40mmの支圧板を配置した。

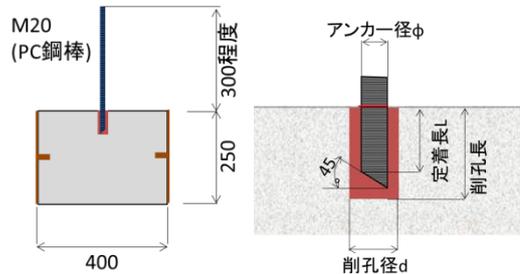


図-1 試験体概要図

表-1 試験体諸元及び載荷条件

試験体名称	アンカー筋	載荷回数	載荷振幅	拘束条件
S-2-1	a	10 ⁵ 回	静的	拘束 (40mm)
	b			
	c			
	d			
R-4-1	a	10 ⁵ 回	0.25Prk ~0.60Prk	拘束 (40mm)
	b			
	c			
	d			

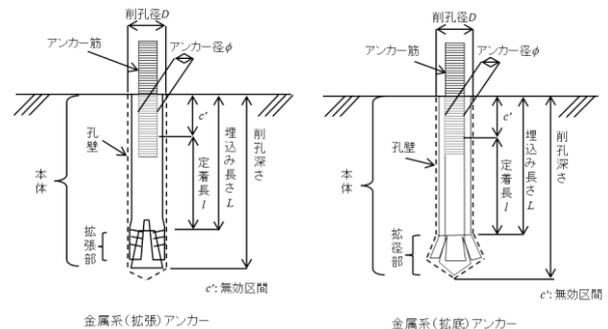
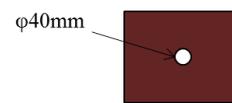
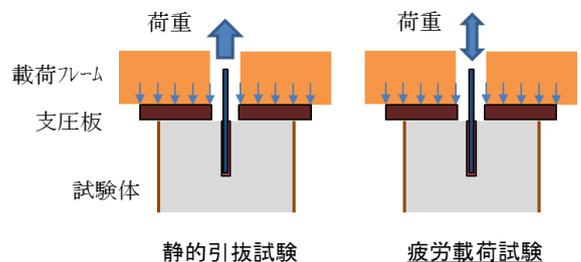


図-2 金属系アンカーの種類



支圧板

図-3 試験方法概要図

表-2 疲労载荷前後の静的载荷試験結果

試験体名称	最大荷重			拔出し量(mm)			③破壊形態	
	疲労载荷前(kN)	疲労载荷後(kN)	①残存強度比	疲労载荷前(kN)	疲労载荷後(kN)	②拔出し量比		
R-4-1	a	139.0	153.9	1.10	1.2	0.7	0.54	接着→接着・凝集
	b	93.4	-	-	1.8	-	-	凝集→(接着・凝集)
	c	50.4	54.7	1.09	16.5	12.4	0.75	凝集→アンカー拔出し
	d	151.8	181.6	1.20	4.8	1.9	0.40	割裂→割裂

次に、基準荷重 P_{rk} をもとに疲労载荷試験を実施し、载荷中の機械変位と最大荷重を記録した。载荷回数は、ETAG の基準を参考に 10^5 回とした。所定回数の载荷実施後もアンカー筋が拔出さなかったものについては、静的载荷試験を実施し、最大荷重、最大荷重時拔出し量、破壊形態を記録した。

最後に、疲労载荷前後の静的载荷試験結果を比較し、耐疲労性を評価した。

3. 試験結果・考察

疲労载荷前後の静的载荷試験結果を表-2 に示す。各試験体の耐疲労性の評価として、①残存強度比が 0.9 を下回るもの、②拔出し量比が 1.1 を上回るもの、③破壊形態が疲労载荷前後で変化しないものの 3 項目を設定した。満足する項目が多いほど、一定の耐疲労性を有していると言える。表中の残存強度比および拔出し量比とは、疲労载荷前に対する疲労载荷後の静的载荷試験の最大荷重の比および拔出し量の比を表す。

(1)残存強度比

R-4-1-c は、疲労载荷の途中でアンカーが拔出したため、残存強度は存在しないと判断したが、その他の試験体では残存強度比が 0.9 以上となっており、疲労载荷後も一定の強度を有していると考えられる。

(2)拔出し量比

残存強度比と同様に、R-4-1-c を除いて考えると、いずれの試験体においても 1.1 を下回っており、疲労の影響は小さいと考えられる。

(3)破壊形態

破壊形態の例を図-4 に示す。破壊形態を大別すると、アンカー筋および接着剤が引抜ける付着破壊タイプ(a)、試験体上面にアンカー筋から放射状にひび割れが伸びる割裂破壊タイプ(b)の 2 種類に区分された。さらに、付着破壊タイプは、接着剤とコンクリートの界面で引抜ける接着破壊(a-1)、アンカー筋のねじ山付近で引抜ける凝集破壊(a-2)、それらの両者が見られる接着・凝集破壊(a-3)の 3 種類に区分された。R-4-1-c については、疲労载荷試験後の破壊形態を表している。R-4-1-a, b については疲労载荷前後で破壊形態が変化したが、R-4-1-d では変化が見られなかった。従って、拡底アンカーを用いた試験体では、疲労の影響が小さいと考えられる。

以上の結果より、耐疲労性の評価をまとめたものを表-3 に示す。アンカー筋の固着方法をパラメーターにとった場合、金属系の拡底アンカーが最も耐疲労について優位であると言える。これは、図-5 に示すように、一定回数以上の疲労载荷を受けることで、拡底アンカーの先端部が削孔径に合わせて拡張し、荷重に対して支圧力及び摩擦力で抵抗する構造となっているためであると考えられる。

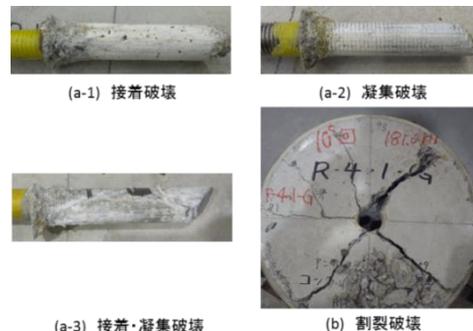


図-4 破壊形態の例

項目	試験体名称				備考
	R-4-1				
	a	b	c	d	
残存強度比	○	○	×	○	○:0.9以上
拔出し量比	○	○	×	○	○:1.1以下
破壊形態	×	×	×	○	○:変化なし
評価点	2	2	0	3	○:1点

表-3 耐疲労性の評価

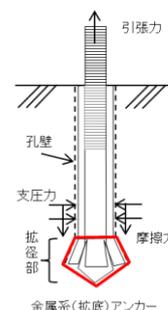


図-5 拡底アンカーの構造

4. まとめ

接着系および金属系のあと施工アンカーに対して疲労载荷試験を実施し、アンカー筋の固着方法をパラメーターにとって疲労の影響を検討した結果、金属系の拡底アンカーが最も優位であるという知見が得られた。今後は、水に浸した場合についても同様の検討を行うほか、アンカーの固着方法ごとに载荷回数と载荷振幅の最大値との関係を示した図(S-N線図)を作成し、疲労特性の把握を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 土木学会: コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案), 2014. 3
- 2) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 2010
- 3) EOTA : ETAG001 Annex A, Apr. 2013
- 4) ACI: 355. 2, Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete & Commentary, 2001