

第2章 実験の計画

2.1 あと施工アンカーの実態調査

2.1.1 あと施工アンカーの施工法例¹⁾

建設分野において用いられるあと施工アンカーは、金属系アンカーと接着系アンカー、その他のアンカー類に大別され（図-2.1.1）、一般的には金属系アンカーと接着系アンカーが多く使用されている。

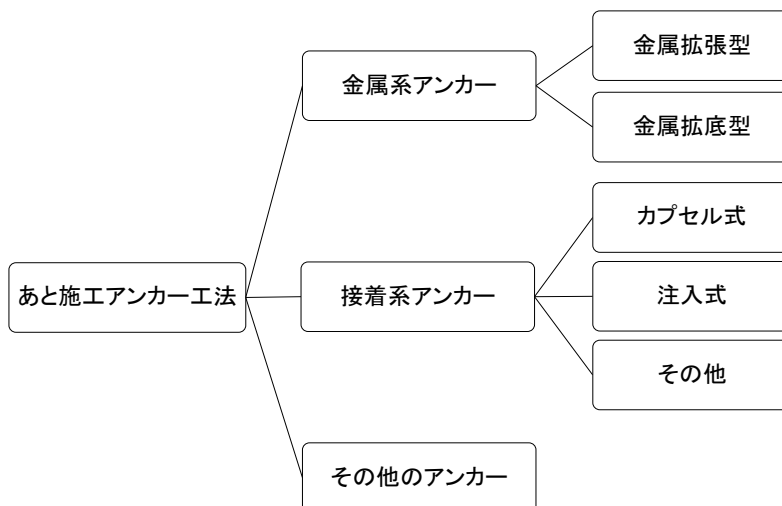


図-2.1.1 あと施工アンカー工法の分類¹⁾

金属系アンカーは金属拡張アンカーと金属拡底アンカーに区分され、金属拡張アンカーは母材に予め削孔した孔の中でアンカーの拡張部が開き、孔壁に機械的にボルトを固着するものである。金属拡底アンカーは、孔底に拡底部を設けたうえで金属系アンカーを固着するものである。

拡張方式により、金属系アンカーは図-2.1.2 のとおり分類される。

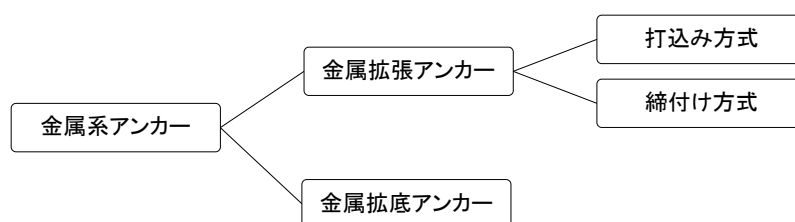


図-2.1.2 金属系アンカーの種類¹⁾

接着系アンカーは、母材コンクリートの孔壁部とアンカー筋との空隙に接着剤を充填し、コンクリートの孔壁にアンカー筋を定着するものである。接着剤の充填方法により、カプセル方式と注入方式に区分されている（図-2.1.3）。接着剤は無機系と有機系があり、有機系はエポキシ系とアクリル系に分類される。

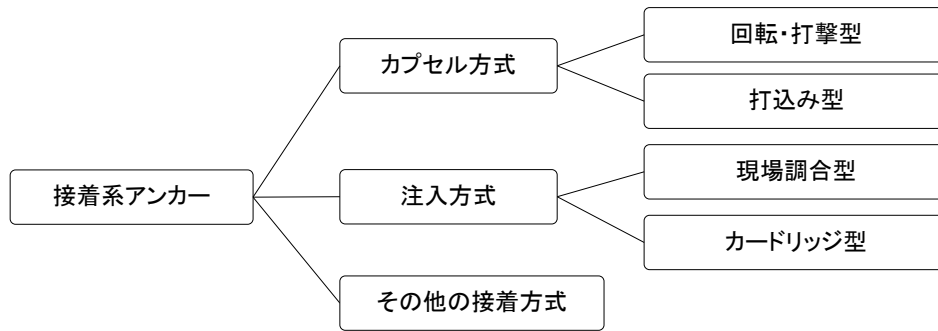


図-2.1.3 接着系アンカーの種類

2.1.2 あと施工アンカーの生産実績

一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会が実施した、平成 25 年「あと施工アンカーの生産実績」調査²⁾ (以下、実績調査) に示されるあと施工アンカーの生産実績を図-2.1.4、図-2.1.5 に示す。図-2.1.4 が生産量、図-2.1.5 が生産金額である。金属系アンカーと接着系アンカーで全体の生産量の約 45% を占め、生産金額も約 85% を占めている。その他のアンカー類は生産量が最も多いが、対象母材に応じて様々なものがある。

合計：667,812 (単位：千本)

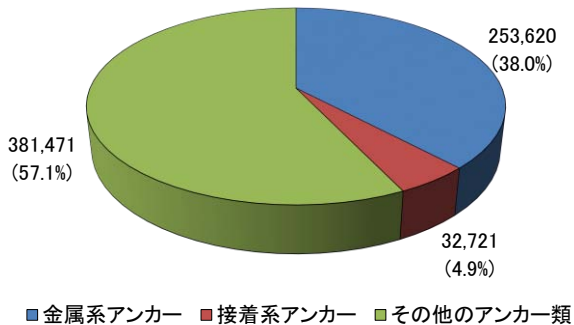


図-2.1.4 あと施工アンカー工法ごとの生産量²⁾

合計：20,227,513 (単位：千円)

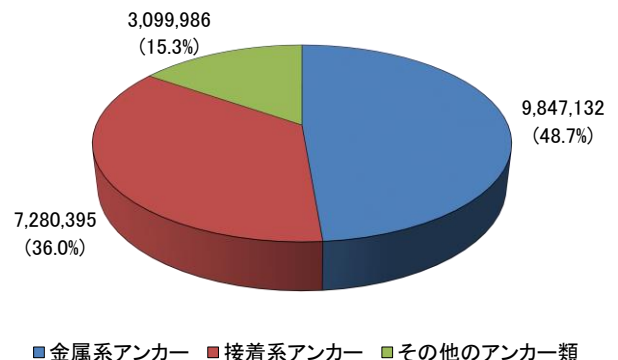


図-2.1.5 あと施工アンカー工法ごとの生産金額²⁾

金属系アンカーにおける生産実績が図-2.1.6、図-2.1.7 である。拡張アンカーがほぼ 100% の生産量と生産金額を占めており、拡底アンカーの実績はかなり小さかった。国総研が別途行ったメーカーヒアリングによれば、土木構造物において使用実績が多いのは「スリーブ打ち込み式」ということであった。図-2.1.6 及び図-2.1.7 において、スリーブ打ち込み式 A とスリーブ打ち込み式 B の合計は、生産量では 4.1%、生産金額では 6.3% である。

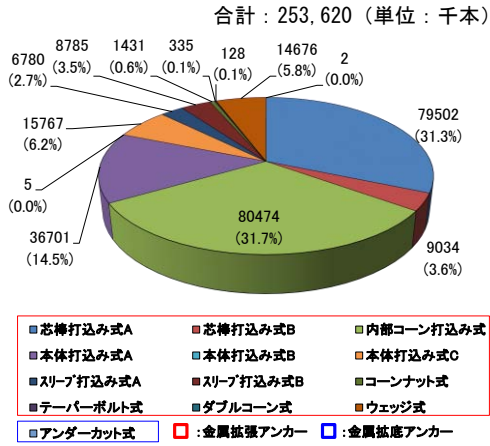


図-2.1.6 金属系アンカーの生産量

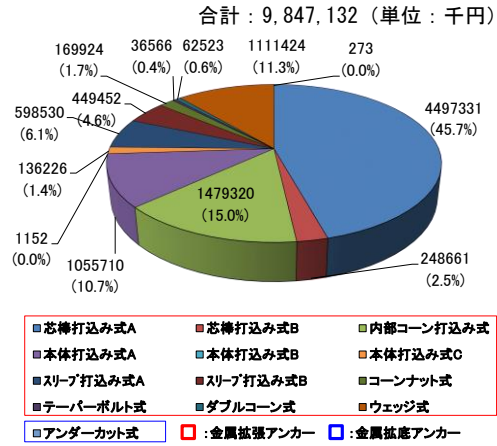


図-2.1.7 金属系アンカーの生産金額

接着系アンカーの生産実績が図-2.1.8、図-2.1.9である。なお、接着系アンカーのうち「現場調合2液混合式」について174,589kg生産されているが、単位が異なるため図-2.1.8の生産量に含めていない。

カプセル方式の生産量は「有機系回転打撃式ガラス管式」が56.8%で最も多く、生産金額も45.7%を占めている。注入方式については「現場調合2液混合式」が生産量の図に含まれておらず比較できないため、生産金額のみで比較した場合、「有機系カートリッジ型ミキシングノズル式」が36.0%で最も大きい。

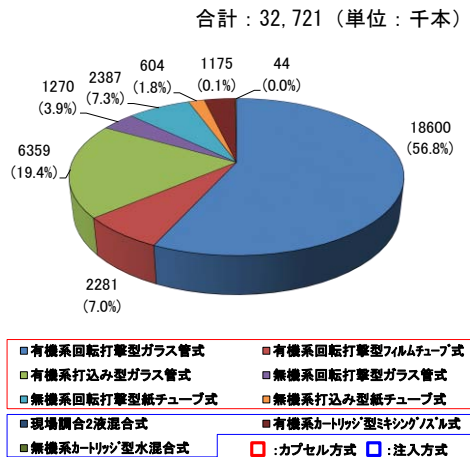


図-2.1.8 接着系アンカーの生産量²⁾

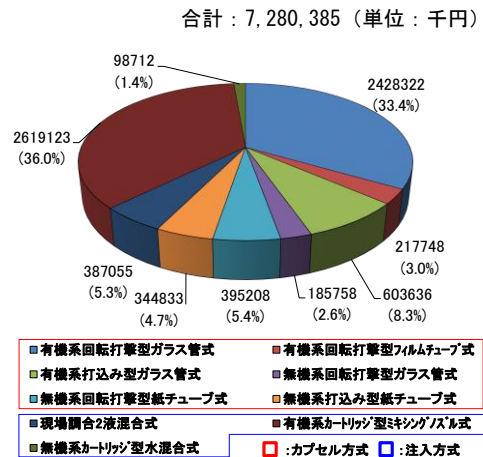


図-2.1.9 接着系アンカーの生産金額²⁾

2.2 あと施工アンカーに生じる不具合の抽出

2.2.1 あと施工アンカーに関係した既知の不具合例の整理

既設の道路構造物に用いられているあと施工アンカーに生じる不具合の内容を抽出するため、あと施工アンカーに関係した不具合事例について、既往の文献を調査した。2002年頃の橋梁の耐震補強工事におけるアンカーボルトの埋め込み長不足³⁾、2011年3月の東日本大震災によるトンネルの天井版や配管ダクト等に使用されているあと施工アンカーの抜けだし⁴⁾、2012年12月の笹子トンネルの天井板及び隔壁板等の落下事故⁵⁾において不具合事例が報告されている。

これらの文献を調査した範囲において、不具合事例の内容と発生要因について整理した結果を表-2.2.1に示す。文献調査の結果から、あと施工アンカーに関係した不具合は、設計不具合、施工不良、経年劣化等の様々な要因で生じていることが確認された。

表-2.2.1 あと施工アンカーの不具合内容と発生要因の例（文献調査）

種別	項目	内容	発生要因	参考文献
接着系アンカー	ボルトの埋め込み長不足	ボルトの埋め込み長不足 引抜き強度のばらつき	設計時の配慮不足 施工不良	3)
	アンカーボルトの定着長不足	ボルト先端と孔底の不一致による定着長不足	設計時の配慮不足 施工不良	5)
	アンカーボルトの定着長不足、充填不足	コンクリート内部空隙への接着剤流出	施工不良	5)
	アンカーボルトの硬化不良、付着不良	接着剤の攪拌不足・まわり込み不足	施工不良	5)
	接着剤の強度低下	経年による接着剤の疲労や材料劣化（加水分解）による強度低下の可能性	経年劣化	5)
	アンカーボルトの付着不良	付着面における亀裂や空洞の発生による付着力低下の可能性	経年劣化	5)
	アンカーボルトの腐食・破断	接着剤の充填不良箇所において水の浸入によるボルトが腐食・破断	経年劣化	5)
金属系アンカー	金属拡張アンカーボルトの拡張不足	アンカーの拡張不足により設計上必要な引抜耐力を満足せず抜け出しが発生	施工不良	4)
	おねじタイプに比べて耐力の小さいめねじタイプの使用	設計上必要な引抜耐力を満足せず抜け出しが発生	施工不良	4)

また、今回実施した文献調査では確認されなかったものの、既存の図書⁶⁾においてあと施工アンカーに不具合を生じさせる可能性のある項目として挙げられているものについても表-2.2.2のように整理した。

表-2.2.2 文献⁶⁾に示されるあと施工アンカーの不具合内容と発生要因の例

種別	項目	内容	発生要因
接着系アンカー	アンカーボルトの削孔不良（斜め）	鉄筋等の支障物を避けるために斜削孔。アンカーボルトを曲げて固定となるので母材自体が損傷	設計ミス、施工不良
接着系アンカー 金属系アンカー	アンカーボルトの削孔不良（削孔径大）	アンカーボルトの削孔径大による接着剤の充填不足	設計ミス、施工不良
接着系アンカー 金属径アンカー	アンカーボルトの削孔不良（削孔深さ浅い）	アンカーボルトの削孔深さ浅いによるアンカーボルトの定着長不足	設計ミス、施工不良
接着系アンカー 金属系アンカー	アンカーボルトの削孔不良（清掃不足）	アンカーボルトの削孔の清掃不足による付着不良	施工不良

2.2.2 性能評価手法において模擬の対象とする不具合の定義

2.2.1 で整理した不具合の整理結果を基に、あと施工アンカーに生じる可能性のある不具合について表-2.2.3 のとおり分類した。そして、本研究で考える性能評価手法において模擬する不具合を①～⑪まで設定した。表-2.2.4 に模擬する不具合の定義を示す。

表-2.2.3 あとアンカーボルトの不具合内容と分類

アンカー種別	あと施工アンカー不具合内容	不具合の分類												
		接着系アンカー									金属系アンカー			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪		
接着系アンカー	ボルトの埋め込み長不足	○												
	鉄筋の有無による削孔精度		○											
	ボルト鋼材の腐食・減肉が原因であるボルト破断			○	○									
	コンクリート内部空隙への接着剤流出による定着長不足					○								
	ボルト先端と孔底の不一致による定着長不足、接着剤の攪拌不足・まわり込み不足					○	○			○				
	固着不良（上向き施工時の養生不良）					○		○						
	削孔不良（削孔深さが大きい）					○				○				
	固着不良（カプセル方式の攪拌不足・過剰攪拌）						○							
	削孔径が原因である接着系ボルトの引張強度不足						○		○					
	経年による付着面における亀裂や空洞の発生による付着力低下								○					
削孔不良（孔内清掃不足）								○						
金属系アンカー	金属拡張アンカーの拡張不足											○		
	固着不良（打ち込み不足）											○		
接着系アンカー 金属系アンカー	削孔不良（ドリル径が大きい）								○				○	

表-2.2.4 模擬する不具合の定義

アンカー種別	不具合ケース		不具合内容の定義
接着系アンカー	①	鋼材長不足	所定の深さまで鋼材が埋め込まれていない状態
	②	斜め削孔	鉄筋の干渉等により削孔が斜めに実施され、斜行している孔に対して斜めにあと施工アンカーが設置されてしまった状態
	③	鋼材破断	水の侵入などによってあと施工アンカーが腐食し、埋め込まれている部分であと施工アンカーが破断している状態
	④	鋼材腐食	水の侵入などによって埋め込まれている部分であと施工アンカーが腐食している状態
	⑤	充填不足	接着剤の未充填部がある状態
	⑥	硬化不良	接着剤の硬化不良を生じている状態
	⑦	付着不良	清掃不足によって接着剤の所要の付着力が発揮できない状態
	⑧	削孔径大	削孔径が所定の大きさよりも大きい状態
	⑨	削孔長深	あと施工アンカー埋め込み長よりも削孔長が深い状態
金属系アンカー	⑩	拡張不足	金属スリーブの埋め込み深さが不足し、所定の拡張が満足されていない状態
	⑪	削孔径大	削孔径が所定の大きさよりも大きい状態

2.3 あと施工アンカーを施工する構造物の状態の模擬

土木構造物へのトンネルの換気ダクトや標識等の付帯設備の取り付けは、あと施工アンカーにナットによって固定される場合がある。その場合、固定する際のナットの締め付けや何らかを吊り下げることによってアンカーボルトには初期軸力が導入される。また、あと施工アンカーはその用途によって、母材コンクリートの端部付近やコンクリートにあらかじめ埋め込まれている支柱の近傍に設置しなければならない場合がある。さらに、実構造物では構造的要因や環境要因等によってコンクリートのひび割れや経年劣化によるコンクリート表面の荒れ、凹凸等が生じる場合がある。これらは、あと施工アンカー自体に発生する不具合ではないが、あと施工アンカーの非破壊検査に用いる検査機器の原理や仕様によっては、適用性や検査精度に影響を及ぼす可能性がある。そこで、本研究では 2.2.2 で定義した不具合を模擬することに加えて、以下の状態を模擬することとした。

- 1)あと施工アンカーが健全な状態で施工されている状態
- 2)あと施工アンカーに軸力が導入されている状態
- 3)母材コンクリートにひび割れや表面の凹凸が生じている位置にあと施工アンカーが施工された状態
- 4)あと施工アンカーが母材コンクリートの端部付近に施工された状態
- 5)支障物またはそれらが撤去された位置の近傍にあと施工アンカーが施工された状態

なお、母材コンクリートにひび割れや表面の凹凸が生じている状態を模擬することは難しく、3)～5)については実構造物から撤去された部材を用いることとした。

2.4 非破壊検査技術の性能検証供試体に用いるあと施工アンカーの種別

非破壊検査技術の性能検証供試体に用いるあと施工アンカー種別は、土木構造物での使用実績があり、さらに、2.2 で定義したあと施工アンカーに生じる不具合を適切に模擬できる必要がある。2.1 のあと施工アンカーの実績調査結果も踏まえ、本研究で対象とするあと施工アンカー種別を選定した。金属系アンカーにおいては、金属拡底アンカーの実績が著しく小さいことから、金属拡張アンカーから1種類の方法を選定することとした。接着系アンカーにおいては、カプセル方式と注入方式で施工方法が大きく異なることから、それぞれの方式から1種類ずつ選定することとした。選定結果と選定理由を表-2.3.1 に示す。

表-2.4.1 本研究で使用するあと施工アンカー

アンカー種別	固着方式	選定理由
金属系アンカー	スリーブ打ち込み式	金属系アンカー全体に対する生産実績の割合は小さいが、土木構造物において使用実績が多いと考えられるため
接着系アンカー (カプセル方式)	有機系回転打撃型 (ガラス管式)	カプセル方式の中で生産実績が最も多いと考えられるため
接着系アンカー (注入方式)	現場調合 2 液混合式	接着剤注入量を管理しやすい (充填不足を正確に管理できる) と考えられるため

2.5 非破壊検査技術の概要

今回の共同研究で共同研究者が用いた各検査技術の機器仕様ならびに装置の特徴を表-2.5.1 に示す。それぞれの機器仕様及び装置の特徴については、検査実施前に共同研究者に対するアンケートによって調査したものである。キャリブレーションとは、健全なアンカーに対する事前計測をいう。軸力（締付けトルク）の影響とはナットの締付けによってアンカーボルトに軸力が生じている場合の影響をいう。

表-2.5.1 非破壊検査技術の機器仕様及び装置の特徴

技術名	検知対象とする(検知可能と考えられる)事象	入力事象	入力位置	出力事象	計測位置	キャリブレーションの必要性	軸力(締付けトルク)の影響の有無
技術A	アンカーボルトの定着部の内部充填の有無 アンカーボルトの異常	弾性波(ハンマーによる打撃)	ボルト頭部	ボルトから生じる音	ボルト近傍の空間	必用	有
技術B	アンカーボルトの長さ アンカーボルトの腐食の有無、位置 アンカーボルトの亀裂の有無、位置	超音波	ボルト頭部	ボルト内部の反射波	ボルト頭部	必用	有
技術C	アンカーボルトの健全性	弾性波(加速度計内臓ハンマーによる打撃)	ボルト頭部	打撃反力の時間波形	ハンマーに内蔵された加速度計	不要	有
技術D	アンカーボルトとコンクリートの境界面の付着状態 アンカーボルトの固着状態 アンカーボルトの損傷等	弾性波(インパクトハンマーによる打撃)	ボルト頭部	ボルト、コンクリート内部を伝搬した弾性波	ボルト横の母材コンクリート表面	不要	有
技術E	アンカーボルトとコンクリートとの付着状況	弾性波(鉄球による打撃)	ボルト近傍のコンクリート表面	コンクリート内部およびコンクリート内部を伝搬した弾性波	ボルト横の母材コンクリート表面とボルト頭部	不要	有
技術F	アンカーボルトの引張耐力	引張荷重(直接引張による載荷)	ボルト突出部	ボルトの引張荷重	ボルト突出部	不要	有
技術G	アンカーボルト接着量 アンカーボルトの樹脂充填率 アンカーボルトの締付けトルクの緩み あと施工アンカー定着部の健全性 アンカーボルトの樹脂充填状況	電磁波(電磁パルス)	ボルト側面	ボルトの振動によって生じる可聴音	ボルト側面の空間	必用	有
技術H		電磁波(電磁パルス)	ボルト側面	ボルトの振動によって生じ、ボルト、コンクリート内部を伝搬した弾性波	ボルト横の母材コンクリート表面とボルト頭部	必用	有
技術I	アンカーボルト定着部の健全性 アンカーボルトの樹脂充填量 アンカーボルトの締付け耐力	弾性波(ハンマーによる打撃)	ボルト頭部及びボルト側面	ボルトへの打撃力、ボルト及びコンクリートを伝搬した振動の音圧	ボルト横の母材コンクリート表面と	不要	有

【第2章 参考文献】

- 1) 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）、（社）土木学会、コンクリートライブラリー144、平成26年3月
- 2) 平成25年 あと施工アンカー生産実績調査結果報告書、（社）日本建築あと施工アンカー協会、平成26年7月
- 3) 日経コンストラクション、平成15年5月9日、平成16年5月28日
- 4) 東日本大震災による耐震対策報告書（暫定版）、震災復興支援会議 設備被害対策検討委員会、平成24年9月
- 5) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書、トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会、平成25年6月18日
- 6) あと施工アンカー施工指針（案）・同解説、（社）あと施工アンカー協会、平成17年5月

