

委員会報告 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

国枝 稔*1・中野克彦*2・濱崎 仁*3・古賀裕久*4・上田尚史*5・高橋宗臣*6・杉山智昭*7・佐藤靖彦*8

要旨: 接着系, 金属系のあと施工アンカーは土木・建築の付帯設備の留め付けやコンクリート構造物の耐震補強に数多く使用されている。アンカーの種類によらず, その耐久性の評価が急務とされている。母材となるコンクリートのひび割れの影響, クリープ, 疲労などの耐久性や耐薬品性の評価については, 欧米の規格ではその影響を既に取り入れられているが, 国内においてはほとんど検討が進んでいない。本研究委員会では, 耐久性の評価方法の確立および設計へのフィードバックを目指す。

キーワード: あと施工アンカー, 耐久性, 設計, 金属系, 接着系

1. はじめに

接着系, 金属系のあと施工アンカーは土木・建築の付帯設備の留め付けやコンクリート構造物の耐震補強に数多く使用されている。コンクリート構造物の長寿命化に伴い機能を付加する場合や, 補修・補強に伴う部材の接合などが今後ますます増え, それに伴ってあと施工アンカーの使用も増加することが予想される。日本コンクリート工学協会(現 日本コンクリート工学会)では, コンクリート用ファスニング技術研究委員会(1992~1993年)を発足させ, あと施工アンカーの技術の現状について調査研究を行った。

2012年12月に発生した笹子トンネル天井板落下事故では, その原因として接着系あと施工アンカーに関する設計段階, 施工段階, 維持管理の各段階における様々な配慮不足が複合的に影響を与えたと言われている¹⁾。その後, 土木学会では, 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)²⁾が発刊されるなど, 各種機関のあと施工アンカーの設計規基準の改訂作業が進められつつある。特に, アンカーの種類によらず, その耐久性の評価が急務とされており, 先行して各種知見が得られている欧米の事例を参考にしつつ, 国内では母材となるコンクリートのひび割れの影響, クリープ, 疲労などの耐久性や耐薬品性に関するデータの収集および評価方法の開発, 検証が精力的に進められている。

このような状況に鑑み, 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の評価方法の確立と設計の高度化研究委員会(2014~2015年)を発足させ, 国内を中心に精力的に進められている耐久性に関する調査研究成果を体系的にとりまとめ, さらに海外での耐久性に関する設計方法や技術調査を行うことで, 耐久性設計の高

度化に資する議論を行った。表-1に委員構成を示す。委員会では, 表-2に示すように, 文献調査WG(杉山主査), 技術調査WG(高橋主査), 設計WG(中野主査)の3つのWGを設置し, 2年間の活動を行った。

表-1 委員構成

委員長	国枝 稔 (岐阜大学)
副委員長	中野 克彦 (千葉工業大学)
幹事	濱崎 仁 (芝浦工業大学)
幹事	渡辺 博志 (土木研究所) (~H27.3)
幹事	古賀 裕久 (土木研究所) (H27.4~)
幹事	高橋 宗臣 (日本ヒルティ)
幹事	上田 尚史 (関西大学)
委員	有木 克良 (都市再生機構)
	安藤 重裕 (住友大阪セメント)
	井口 重信 (東日本旅客鉄道)
	伊藤 嘉則 (建材試験センター)
	内田 慎哉 (立命館大学)
	大垣 正之 (日本建築あと施工アンカー協会)
	加藤 絵万 (港湾空港技術研究所)
	坂岡 和寛 (西日本旅客鉄道)
	佐藤 靖彦 (北海道大学)
	西田 宏司 (高速道路総合技術研究所)
	田所 敏弥 (鉄道総合技術研究所)
	杉山 智昭 (大成建設)
	長井 宏平 (東京大学)
	西崎 到 (土木研究所)
	向井 智久 (建築研究所)
	山崎 大輔 (ショーボンド建設)
	笠 裕一郎 (鉄道総合技術研究所) (H26.7~)

*1 岐阜大学 博士(工)(正会員)

*2 千葉工業大学 博士(工)(正会員)

*3 芝浦工業大学 博士(工)(正会員)

*4 土木研究所 博士(工)(正会員)

*5 関西大学 博士(工)(正会員)

*6 日本ヒルティ 修士(工)(正会員)

*7 大成建設 博士(工)(正会員)

*8 北海道大学 博士(工)(正会員)

表-2 WGの構成

【文献調査WG】	
主査：杉山智昭 副査：内田慎哉 有木克良 加藤絵万 国枝 稔 長井宏平 山崎大輔	
【技術調査WG】	
主査：高橋宗臣 副査：濱崎 仁 安藤重裕 伊藤嘉則 大垣正之 西崎 到	
【設計WG】	
主査：中野克彦 副査：佐藤靖彦 有木克良 井口重信 上田尚史 古賀裕久 坂岡和寛 田所敏弥 西田宏司 向井智久 笠裕一郎	

2. 学術論文の文献調査（文献調査WG）

2.1 調査の概要

本章は、あと施工アンカーに関わる学術研究の現状を示し、今後の技術知見の蓄積のための資料とすることを目的としている。報告書では、わが国におけるあと施工アンカーに関する研究発表の状況、設計の高度化および耐久性に関する複数のキーワードに係わる研究領域のレビュー、ならびに付録として調査した研究論文の一覧を示している。

表-3 に調査対象の文献を示す。調査対象は、日本コンクリート工学会、日本建築学会、土木学会、日本材料学会、日本非破壊検査協会などから発行されている論文・梗概を対象とした。一方、海外文献については、主にACI (American Concrete Institute)を中心に調査を実施することとした。具体的な対象文献は740編である。研究論文の編数は、建築系の発表が大部分を占めているが、近年は土木系における編数が増加している。

調査論文は、あと施工アンカー単体やあと施工アンカーを複数用いた接合部性状、いわゆる間接接合における性能を述べている論文を対象としており、あと施工アンカーを構造部材の補強などに用いた研究で、あと施工アンカーを含む総合的な部材性能などについて示した論文は対象から原則除いている。なお、あと施工アンカーに係る研究を調査対象としているが、性能の評価手法や実験結果などで参照されている先付（コンクリート打設前に配置されたアンカー）に関する主たる研究は、対象に含めることとした。

収集・調査した文献は、表-4 に示すキーワードで分類を行うこととした。キーワードは表に示すように、あと施工アンカー種別（接着系、金属系など）、研究手法（実験、解析、調査など）、主に研究対象に該当する検討項目1（終局耐力、耐薬品性、長期性能など）、主に実験要因となる検討項目2（定着長さ、コンクリートなど）、およ

び、対象荷重（引張、せん断、複合）について調査・分類することとした。表中の最右列に示す数字が対象とした論文数である。

表-3 調査対象とした文献一覧

学協会名	論文名	編数
日本コンクリート工学会	コンクリート工学年次論文集	84
日本建築学会	日本建築学会論文集	16
	日本建築学会学術講演梗概集	443
	日本建築学会支部報 (9支部)	52
	構造工学論文集	2
土木学会	土木学会論文集	2
	構造工学論文集	3
	全国大会年次学術講演会講演概要集	85
	関東支部技術研究発表会講演概要集	6
	関西支部年次学術講演会講演概要集	4
日本材料学会	コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集	10
日本非破壊検査協会	コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集	5
American Concrete Institute	ACI Structural Journal	19
	ACI Materials Journal	1
American Society of Civil Engineers	Journal of Structural Engineering	6
International Federation for Structural Concrete	Structural Concrete	2
合計		740

表-4 文献調査におけるキーワード

キーワード1	キーワード2	キーワード3
アンカー種類 (最大2項まで選択)	概要	キーワード1~2
接着系	: 有機系・無機系等。主として付着による固着。	496
金属系	: 拡張、アンダーカット等。主として摩擦・支圧による固着。	185
複合	: ハイブリッドアンカー等。抵抗が複合的な工法のもの。	116
その他	: 上記以外。参考資料となる先付を含む。	75
手法 (最大3項まで選択)	概要	キーワード3~5
実験	: 実験手法による研究。	690
解析	: 解析手法 (FEM等) による研究。	35
設計法・評価法	: 設計・評価手法に関する検討・提案がされた研究。	91
調査	: 現地調査等が実施された研究。	7
検討項目1 (最大3項まで選択)	概要	キーワード6~8
短期耐力 (終局耐力)	: 耐震等アンカーの強度・耐力。主に静的耐力。	595
長期耐力	: 持続的に荷重が生じる場合の特性。耐久性に関しても含む。	36
耐薬品性	: アルカリ等の薬品が及ぼす影響。樹脂単体の研究含む。	8
疲労	: 高サイクル繰り返し荷重の影響。	27
動的	: 動的耐力がされた場合の挙動・特性。	24
耐火・高温	: 火災や高温 (火災時ほどの高温でない) 条件下の特性。	19
放射線	: 放射線の影響等。	2
検査技術	: 性能の検査方法等。維持管理に関連して。	33
施工の影響	: 性能のばらつき等。品質確保に関して。	54
工法開発	: 新たな工法開発。	176
検討項目2 (最大3項まで選択)	概要	キーワード9~11
定着長さ	: 埋め込み長さの影響に関して。	216
へり(はし)	: コンクリート縁端の影響に関して。「かぶり」含む。	81
距(間隔)	: アンカー間隔、複数本の影響に関して。ピッチ・タージ含む。	105
コンクリート	: 強度、軽量コン等、母材の特性の影響に関して。	171
ひび割れ	: 母材ひび割れの影響に関して。	16
径	: アンカー径の影響に関して。	107
繰り返し	: 実験の耐力が一方または正負交番の繰り返し耐力。	63
荷重条件 (最大2項まで選択)	概要	キーワード12~13
引張	: 引張に対する抵抗について。	462
せん断	: せん断に対する抵抗について。	203
複合	: 引張とせん断が同時に生じる場合の抵抗について。	72

図-1 に我が国における論文発表数の変遷を示す。報告書中では、年代ごと(～1985, 1986～1995, 1996～2005, 2006～)に前述のキーワードに該当する発表論文数も示している。社会状況の変化などにより、論文発表数、また、研究分野に関しては変遷が見られている。発表数で

は近年では建築基準法整備事業や笹子トンネル事故などにより論文数が多く増加している。これら研究論文の変遷については、報告書を参照されたい。

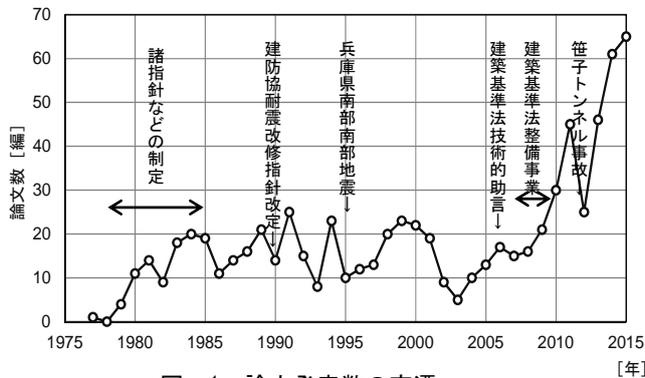


図-1 論文発表数の変遷

(9)施工の影響・品質管理：孔内清掃状況・削孔方法などの施工方法が耐力に与える影響(図-4 参照)，機械施工による効果など

上記の研究レビューの詳細は，報告書で記載をしているので参照されたい。

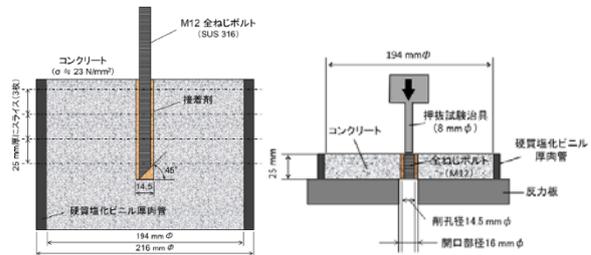


図-2 押し抜き試験の概要⁴⁾

2.2 研究紹介 (論文レビュー)

あと施工アンカーの基本的な抵抗機構，また，設計式については，本会「コンクリート用ファスニング技術研究委員会報告書 あと施工アンカー技術の現状，1994年4月」の「4章 耐荷重機構」にて詳細が述べられている。本委員会報告では，それ以降の学術研究を中心に設計の高度化および耐久性に関する研究領域の現状を示すこととして研究の紹介(レビュー)を行った。具体的には，構造性能評価に係る事項として先述の報告書にてレビューが少ない事項，また，耐久性や長期性能に係る事項を中心に下記(1)～(9)の研究領域について，国内における主な研究を取り上げて紹介している。

- (1)終局耐力：引張およびせん断強度におよぼす埋込み長さ・へりあき・群の影響など
- (2)母材コンクリート：母材コンクリートが低強度(15N/mm²以下)・高強度(36N/mm²以上)・コンクリートに発生したひび割れの影響など
- (3)耐薬品性：接着系アンカーにおける接着材(樹脂)単体の耐薬品性³⁾，コンクリート中に埋め込まれた場合の付着性能に与える耐アルカリ性⁴⁾(図-2 参照)など
- (4)長期性能(耐久性)：長期持続荷重に対する耐久性。荷重レベルと破壊までの荷重日数⁵⁾，付着クリープ特性⁶⁾(図-3 参照)など
- (5)疲労：繰り返し荷重に対する検討など
- (6)動的挙動：高速度の荷重が作用した場合の引き抜き破壊に関する検討など
- (7)耐火・高温性能：コンクリート中に埋め込まれた場合の火災時の影響，母材コンクリートが高温の場合の影響など
- (8)検査技術：接着系あと施工アンカーの接着剤の充填状況を非破壊で評価する研究など

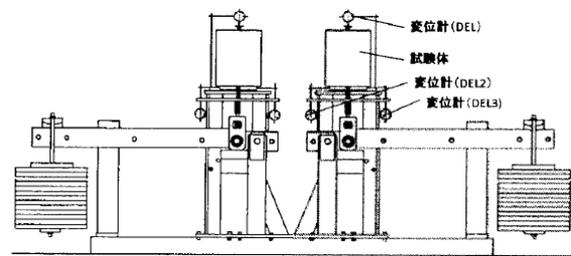


図-3 カウンターウェイト式荷重装置⁶⁾

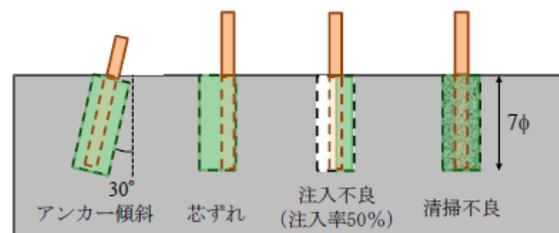


図-4 想定される施工不良のケース⁷⁾

3. あと施工アンカーの技術の現状 (技術調査 WG)

本章では，土木および建築分野におけるあと施工アンカーの適用と性能の評価方法の現状に関する調査した内容について報告している。あと施工アンカーは，大きく接着系アンカー，金属系アンカーおよびその他のアンカー類に分類されている。表-5 に，あと施工アンカーの適用の現状として，土木および建築分野に分けた上で，使われ方，適用範囲そして施工品質確認試験に関する調査内容の概要を紹介している。その他に，設計の考え方の共通化を検討するための基礎資料として，あと施工アンカーの性能の評価方法の現状を紹介し，耐久性の評価方法について欧米の一例を紹介している。そして施工者の資格の現状についての最新の情報も整理した。

3.1 あと施工アンカーの適用の現状

建築分野（構造）においては、耐震補強や改修工事においては、鉄筋コンクリート壁の増設工事や鉄骨ブレースの増設工事に使用されている。この工事に用いるあと施工アンカーは、接着系アンカーカプセル方式の回転・打撃型が最も多く使用されており、適用範囲に関しては、適用される指針内において詳細に定められている。また施工品質確認試験においても、現場非破壊試験についても指針に記載されていることが多く、その頻度で確認試験が実施されている。

建築分野（設備）においては、設備材料の殆どがあと施工アンカーによって留め付けされているのが特徴である。その適用範囲として、直ぐに留め付け機能が発揮できる金属系アンカーが最も多く用いられている。その施工品質確認試験においては、全ての指針類に詳細に記載されていないが、一部では目視検査にて確認することとなっている。

土木分野においては、鉄道、高速道路および一般土木という分類で調査を行ったため、報告書内では構造と設備／付帯構造物という分野では取りまとめはしていないが、表-5 にこれらの調査結果を要約して紹介する。な

お、鉄道分野では東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR 東日本）、西日本旅客鉄道株式会社（以下、JR 西日本）、道路分野では株式会社高速道路総合技術研究所（以下、NEXCO）からの情報提供によって取りまとめた。

土木分野（構造）では、橋梁の耐震補強として桁座拡幅工や落橋防止工、またはプレキャスト高欄の接合、電柱支持梁の継足しなどに使用されている。これらには主に接着系アンカーが用いられており、その適用範囲は、それぞれの事業者ごとに仕様書が作成されている。また施工品質確認試験においても同様である。

土木分野（設備・付帯構造物）においては、手すり、下げ束、信号機基礎、橋梁の検査用足場、排水樋、標識類、剥落防止ネットや繊維シートなど多くの留め付けに使用されている。その適用範囲では、接着系アンカーや金属系アンカーが示されている。

このように土木や建築の構造分野においては、構造物の耐震補強に接着系アンカーが使用されており、また指針や仕様書において、適用範囲や施工品質確認試験が定められている。設備分野においても同様である。しかし、本調査でも明らかになったのは、特に設備分野における指針や仕様書に示されている、適用範囲と施工品質確認

表-5 あと施工アンカーの適用の現状（概要）

分野	使われ方	適用範囲	施工品質確認試験
建築	構造 耐震補強 ・鉄筋コンクリート壁の増設 ・鉄骨ブレースの増設	・改良型本体打込み式 ・接着系カプセル方式アンカー (回転・打撃式) それぞれアンカー筋径、埋込み長さ、 アンカー筋の長さに規定あり	性能確認試験 ・メーカー等の実験室で実施 現場非破壊試験 ・引張試験：1日各径毎1ロット3本 ・打音検査：全数
	設備 設備材料の留め付け サッシ、タラップ、雨樋、看板、室外 機用棚、軽量天井、スタンド、自動販 売機、足場継ぎ、足場ブラケット、エ レベータガイドレール、電気機器等	・金属系アンカー 芯棒打込み式、内部コーン打込み式、 本体打込み式、スリーブ打込み式等 ・接着系アンカー カプセル方式アンカー（回転・打撃型）	一部の監理指針において、 性能確認：製造者の試験成績表等 施工確認：目視検査 ①種類、径、位置、本数、角度等 ②接着系アンカーの硬化
土木	構造 (鉄道) (高速道路) 桁座拡幅工 落橋防止工 プレキャスト高欄 電柱支持梁の継足し、	・接着系アンカー カプセル方式、注入方式 ・金属系アンカー (JR 西日本：簡易な構造に使用可)	JR 東日本：引抜き試験（試験頻度は用途によって異なる）、アンカー長の計測 (径が 20mm 以上の接着系) NEXCO：基準試験、定期管理試験、日常管理試験（頻度と対象本数の設定有）
	設備 付帯構造物 電気設備／付帯構造物の留め付け 手すり、下げ束、信号機基礎、検査用足 場、排水樋、標識類、剥落防止ネットま たは繊維シート、仮設備、	・接着系アンカー カプセル方式、注入方式 ・金属系アンカー 拡底式、拡張式（打込み式、締付け式）	JR 東日本：引抜き試験（試験頻度は用途によって異なる） NEXCO：基準試験、定期管理試験、日常管理試験（頻度と対象本数の設定有）

試験の内容に、大きく違いがあることが分かった。

3.2 あと施工アンカーの性能の評価方法の現状

あと施工アンカーの品質や性能を評価する制度として、日本と欧米を表-6 に比較表を示す。その違いは、設計手法における違いから、仕様規定型と性能規定型に大別できる。日本では一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会（以下、JCAA）が実施している製品認証事業があり、協会が定める性能を満たすことを確認している。しかし近年、あと施工アンカーの種類が増えたことや、施工方法の多様化を受けて、「工法・製品認証」という、申請者が設定した条件、判定式および設定値を満たすことを判定する制度も始めた。また、次節に示すとおり、施工による影響を抑えるために施工者の資格制度もセットで運用していることが特徴でもある。一方、欧米では、欧州技術認証機構（EOTA）とアメリカコンクリート工学協会（以下、ACI）が認証基準を定めている。その手法は、基準試験結果に対して、施工品質の安定性を検証する信頼性試験と使用される条件や耐久性など検証する使用条件試験を実施して、その結果に応じて基準試験結果を低減させて材料特性値を与える性能評価を行っている。ただし各要因には最低条件が設けられている。

表-6 日本と欧米の製品認証制度の比較表

発行機関	JCAA		EOTA	ACI
	仕様規定	性能規定	性能規定	
評価方法	合否判定	合否判定	性能評価	
解説	試験結果が判定式の値を満足すること。	申請者が設定した条件、判定式および設定値に対し、試験結果が満足すること。	基準試験結果に各種影響試験結果要因分を低減させる。ただし、各要因には最低条件が設けられている。	

3.3 あと施工アンカーの施工資格制度

日本ではJCAAとあと施工アンカー工事協同組合（以下、AAC）が施工資格者制度を実施している。JCAAとAACでは資格種類に応じた内容の試験を実施し、またその施工資格に対する適用範囲を示している。またアメリカでは、ACIが施工資格制度を実施しており、筆記試験および実技試験で合否を判定している。その特徴として、接着系アンカーの上向き施工が実技試験に含まれている。

3.4 あと施工アンカーの試験法

あと施工アンカーの性能評価を実験室等で行うための引張試験方法とせん断試験方法を調査した。EOTAとACIで紹介されている試験方法は同じであった。日本で

はJCAAが製品認証用の標準試験方法とセット試験方法を示しているが、一般に公開されていないのが現状である。またJR東日本発行の土木工事標準仕様書（平成27年8月改訂版）においては、引張試験方法が示されている。

3.5 構成される樹脂について

接着系アンカーにおいて、構成されている樹脂の評価について日本と欧米で様々な方法が設けられている。日本では一般的に、樹脂硬化物試験を実施し、各事業者や各種指針や監理指針、そしてJCAAの製品認証制度の中の要求性能として規格値が設けられている。欧米では、樹脂種類に応じて特性や性能を試験によって示す制度としている。

3.6 耐久性の性能・評価

耐久性に関する評価に関しては、JCAAでは樹脂硬化物によるアルカリ性に対する耐性試験、EOTAやACIでも試験方法が異なるがアルカリ性に対する耐性試験と、二酸化硫黄に対する耐性試験、そして環境温度を考慮した引張クリープ試験や凍結融解試験などが実施されている。近年ではJR東日本でもアルカリ性に対する耐性試験と引張クリープ試験の方法を定めた。いずれにしても、現在各機関で取り組まれている耐久性評価において、促進条件の加速倍率や実環境における耐久性との整合性を明らかにすることが今後の課題となっている。

3.7 まとめ

本WGでの調査結果のように、あと施工アンカーは多種多様に用いられていることが分かった。しかしその適用範囲、施工品質確認および製品性能評価においては、各分野や団体において統一化されていないのが現状である。設計の考え方の共通化や高度化を目指す上で、あと施工アンカーの製品性能評価の共通化や耐久性の評価方法の確立が今後の課題である。

4. あと施工アンカーの設計の課題の整理と設計の高度化（設計WG）

4.1 はじめに

本章では、「あと施工アンカー」に関わる設計の高度化に向けての課題を明確にすることを目的とし、建築および土木分野における現状の設計の考え方をまとめ、統一的な提言を試みている。

4.2 建築分野におけるあと施工アンカーの設計

本節では、建築におけるあと施工アンカーの主たる用途を、既存建築物に補強部材などの構造部材を固定する（建築物の施工）ために用いる場合と付属物や機器類など非構造部材を建築物の床・壁・天井等に固定する（付属物の固定）ために用いる場合とに分け、関連する規準・指針類との関連を示し、各項において概要（変遷、主旨）

を示している。図-5 に建築分野におけるあと施工アンカーに関する規準・指針関連を示す。

建築物の施工としては、建築基準法の法的な規制として制定されている「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針：国土交通省告示第 1024 号⁸⁾」、建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）の中で既存不適格建物に適用する「2001 年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説：（一財）日本建築防災協会⁹⁾」がある。付属物の固定としては、建築基準法の法的な規制としては「給湯設備転倒防止対策に関する指針：国土交通省告示第 1338 号」が示されており、指針としては「建築設備耐震設計・施工指針：（一財）日本建築センター¹⁰⁾」、「自家用発電設備耐震設計のガイドライン：（一社）日本内燃力発電設備協会¹¹⁾」がある。また、構造部材および非構造部材の両方の内容を含んだ指針として、「2010 改訂版 各種合成構造設計指針・同解説、第 4 編 各種アンカーボルト設計指針・同解説：（一社）日本建築学会¹²⁾」がある。

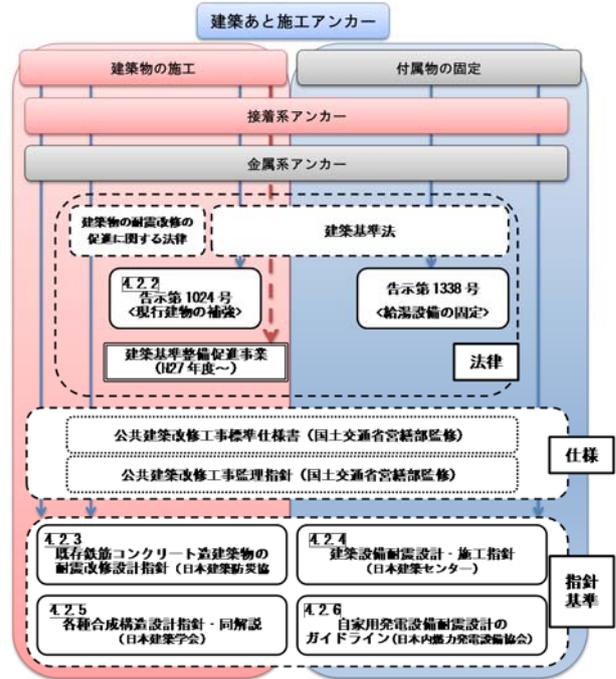


図-5 建築における規準・指針関連

4.3 土木分野におけるあと施工アンカーの設計

本節では、土木におけるあと施工アンカーの設計指針として、「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)：（公社）土木学会²⁾」、鉄道構造物に関する設計・施工指針、道路構造物に関する設計・施工指針を示している。

図-6 に土木学会標準の構成を示す。あと施工アンカー工法の用途は、落橋防止装置の固定や、柱や壁の耐震補強等の構造物の一部として適用される場合と、ダクトや標識等の付帯設備を取付けるような構造物には直接影響を及ぼさない、すなわち母材のコンクリート（あと施工アンカー部）のみに影響を与える場合に大別できる。土木学会指針では、後者の場合の性能照査の方法を対象としており、前者の場合はコンクリート標準示方書【設計編】に従って設計している。本報告書では標準の概要を示している。

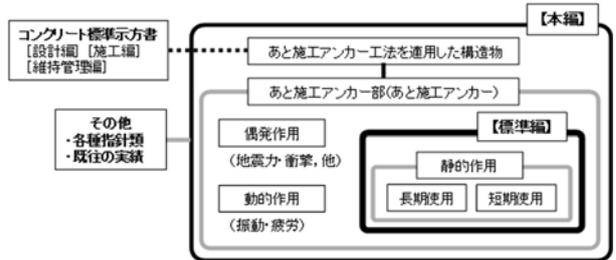


図-6 土木学会標準の構成²⁾

鉄道構造物におけるあと施工アンカーに関する技術基準としては、昭和 60 年に国鉄、昭和 62 年に（財）鉄道総合技術研究所から発行された「あと施工アンカー工法設計施工の手引き¹³⁾」（以下、本手引き）がある。構成は、適用範囲、適用区分、種類と工法、材料、設計、施工、試験となっている。

あと施工アンカーの選定については、JR 東日本を例にすれば、表-7 を参考に材料の耐久性、施工性、施工できる方向などを考慮して選定している。各鉄道業者においては、本手引きを参考に、設計や施工に関する社内規定やマニュアル等を別途、定めている場合もあり、各事業所の実情に応じて、あと施工アンカーの施工が行われている。

表-7 あと施工アンカーの種別と適用箇所（JR 東日本）

種別	工法	材料の耐久性		施工性			施工できる方向		あと施工アンカーを用いて取り付ける部材		
		充填剤	アンカー筋	施工性	上向き	下向き	横向き	種別	具体例		
接着系	カプセル	○	○	○	○	○	○	○	○	構造部材 ^{※1)}	桁梁拡張工、落橋防止工、ブレイキャスト高欄
	注入	○	○	○	×	○	○	○	○	非構造部材	
有機	カプセル	△	○	△	○	△	○	○	○	構造部材 ^{※1)}	非構造部材 ^{※2)}
	注入	△	○	△	△	△	○	○	○	非構造部材 ^{※2)}	
金属系(拡張)	—	△	△	○	○	○	○	○	○	非構造部材	下げ束、検査用足場
金属系(拡張)	打込み方式	—	△	△	△	○	○	○	○	非構造部材 ^{※3)}	排水樋、線路護欄、仮設設備
	締付け方式	—	△	○	○	○	○	○	○	非構造部材 ^{※3)}	

凡例 ○：優れる △：やや劣る ×：不可
 ※1：列車荷重による変位の影響を受けるものは除く
 ※2：使用環境の温度が 90℃ 以下であること
 ※3：長期間にわたる大きな引張荷重あるいは繰返し荷重を受け、かつ列車または旅客公衆への影響が大きい箇所には施工されるものは除く

高速道路において、あと施工アンカーは、主に接着系アンカーが鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強、縁端拡幅及び落橋防止構造の設置など、コンクリート構造物の補修補強に、金属系アンカーは、検査路、排水管等の橋梁付属物やトンネル内付帯設備（ジェットファン、標識等）等の取り付けに用いられている。東日本高速道路・中日本高速道路・西日本高速道路では、あと施工アンカーに

関する規定として、平成8年に耐震補強用の接着系アンカーの施工管理について「あと施工アンカー施工管理要領(案)」が定められ、現在は、設計においては「設計要領第二集 橋梁保全編」、施工・管理については、「構造物施工管理要領」に記載がされている。

4.4 海外の設計法との比較

本節では、EOTA、ACI、日本の建築および土木からの設計指針を例として、設計における施工品質や維持管理の考え方といった前提条件の違いを明確にした上で、安全係数の考え方、特性値の設定の仕方、時間(耐久性を含む)に対する考え方などの違いを示している。

4.5 設計に関する提言

本節では、今後のあと施工アンカーの設計および選定にあたっての提言を行っている。あと施工アンカーによる定着方法をファスニングとコネクティングの2つの方法に分類している。ファスニングとは長さの短いアンカーボルトを用いて設備機器類を定着するイメージであり、コーン状破壊および付着破壊のような応力の再分配が難しい破壊が起こる場合を想定している。一方、コネクティングとは長さの長いアンカーボルトを用いて部材と部材を接合するイメージであり、アンカー筋の降伏のような応力の再分配が可能な破壊を想定している。

図-7 にあと施工アンカーの選択フローを示す。アンカーの破壊が、構造的な安全性に及ぼす影響や第三者に及ぼす影響、さらに求められる機能に基づき、あと施工アンカーの重要度を明確にする。その上で、アンカーを施工するコンクリート構造の部材厚さなどを考慮し、先に述べた重要度に加え、実際に置かれる環境と使用するあと施工アンカーの品質が確認されている標準試験環境との差異に基づき、環境に関する不確実性と施工に関する不確実性の考慮の方法を検討してアンカーの定着方法を決定する。すなわち、その検討に基づき、許容応力度設計法においては許容値を、限界状態設計法においては安全係数を設定する。最終的に、定量的な照査ができない項目、例えば、維持管理の難易度などに対する検討を行い、使用するアンカー法とアンカー種類を決定することとなる。

あと施工アンカーの品質と信頼性は、環境作用の影響度と力学作用の影響度に応じた標準試験を用意することで確保することとしている。図-8 に作用区分、表-8 および表-9 に各区分の具体例を示す。作用に応じた9つの作用区分を設け、区分に応じた標準試験にパスしたアンカーを用いることになる。もちろん、標準試験で考慮設定される作用の条件と実際の作用との間には差異があるため、その影響を安全係数として考慮する必要がある。

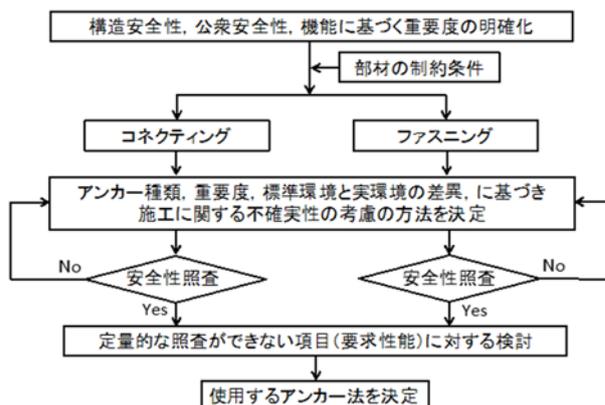


図-7 あと施工アンカー選択の流れ(案)

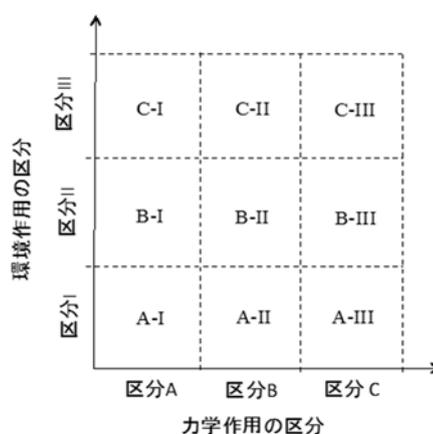


図-8 標準試験における作用区分(案)

表-8 環境作用区分の例

環境作用区分 I	乾湿のない一般的な気温下に置かれる場合。
環境作用区分 II	常に低温環境に置かれる場合。常に高温環境に置かれる場合。
環境作用区分 III	凍結融解作用を受ける場合。化学的侵食を受ける場合。

表-9 力学作用区分の例

力学作用区分 A	静的荷重を短期間に受ける場合。
力学作用区分 B	静的荷重を長時間持続する場合。繰返し作用を受ける場合
力学作用区分 C	疲労や振動を受ける場合。

5. まとめ

本委員会では、あと施工アンカーの学術研究の状況、技術の変遷や基規準類の現状、設計方法の整理と今後の設計のあり方や耐久設計の考え方について示すことができた。当初の目的では、耐久設計方法を提案する予定で設置したものの、予想以上に日本国内における耐久性に関する知見が少なく、現時点で手つかずのものもある。本委員会報告の学術研究の動向などを参考に、引き続きデータの蓄積が必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省：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, 2013
- 2) 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) 丹羽 亮・後藤浩司・沢出 稔・松崎育弘：接着系あと施工アンカーに使用する接着剤の耐薬品性能について その1, その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），pp.919-922, 1994.9
 - 4) 内藤圭祐・井口重信・山田宜彦・松田芳範：接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性に関する実験的検討, 土木学会第70回年次学術講演会, pp.375-376, 2015.9
 - 5) 松崎育弘・阿部保彦・宇佐美滋：ポリエステル系樹脂アンカーの長期持続引張荷重による限界耐力, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.249-22, 1981
 - 6) 中野克彦・相葉雅史・福山 洋・細川洋治・向井智久・濱崎 仁：あと施工アンカーの長期許容応力度に関する研究 その3 引張クリープ実験, 日本建築学会大会学術講演集, pp.639-640, 2011
 - 7) 笠 裕一郎・田所 敏弥・岡本 大・古屋 卓稔：耐荷機構に基づくあと施工アンカーの引抜耐力に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.37 No.2, pp.505-510, 2015
 - 8) 国土交通省：あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針（<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/anchor/060707sisin.pdf>），2006.7
 - 9) 日本建築防災協会：2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説, 2001.10
 - 10) 日本建築センター：建築設備耐震設計・施工指針 2014年版, 2014.9
 - 11) 日本内燃力発電設備協会：自家用発電設備耐震設計のガイドライン, 1981.3
 - 12) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説 第4編各種アンカーボルトの設計指針・同解説, 2010.11
 - 13) (財) 鉄道総合技術研究所：あと施工アンカー工法設計施工の手引き, 1987