

3. 調査・試験結果

3.1 調査・試験の項目等

— 目 次 —

3.1.1 調査・試験一覧.....	155
3.1.2 調査・試験 実施計画書.....	156

3.1.1 調査・試験一覧

調査検討委員会では、事故原因の把握のために幅広い視点から調査・試験を実施した。

試験項目	試験数			試験内容	
	天井板 落下区間	その他 区間	実施 総数		
接着系ボルト孔調査	327箇所	113箇所	440箇所	・孔内の錆や接着剤の付着状況を記録	
コア採取による各種調査	・施工出来形調査※ ¹	26箇所	31箇所	57箇所	・コア切断面から削孔長、削孔深さ、埋込み長、接着剤の付着状況等を把握
	・X線CT分析※ ²	2箇所/26	8箇所/31	10箇所/57	・接着系ボルトの埋込み状態、接着剤の付着状況、コンクリート部の状態を観察
	・赤外線顕微鏡観察※ ²	1箇所/26	無/31	1箇所/57	・接着剤の化学劣化が起きている部分の劣化の範囲・深さ等を確認
	・SEM(走査型電子顕微鏡)分析※ ²	2箇所/26	6箇所/31	8箇所/57	・SEM画像から接着剤とアンカーボルト・コンクリートの界面や接着剤内部の状態を詳細に観察
	・EPMA(X線マイクロアナライザ)分析※ ²	1箇所/26	4箇所/31	5箇所/57	・ナトリウム、カルシウムなどの元素の分布を調べ、劣化状況を調査
引抜試験	無	185本	185本	・接着系ボルトの荷重変位曲線を記録 ・試験終了後の状態を記録	
孔内またはボルトから採取した接着剤	・赤外線分光分析	無	孔内19箇所 ボルト15箇所	19箇所	・赤外線分光スペクトルにより接着剤の種類を判定し、化学的変化(劣化)を確認
	・熱重量測定	無	孔内2箇所 ボルト2箇所	2箇所	・無機成分(セメント、砂等)と有機成分(樹脂等)の含有量を把握
打音試験	無	185本	185本	・近接目視、打音及び触診を実施し、データを記録 ・センサー付き打音試験の実施	
シュミットハンマー計測によるコンクリート圧縮強度の測定	10箇所	185箇所	195箇所	・コンクリート強度の確認	
覆工コンクリートの圧縮強度測定	5本	10本	15本	・コンクリート圧縮強度を確認	
ボルト引張破断試験	無	4本	4本	・ボルト自体の引張強度を確認	
ボルト腐食試験	無	4本	4本	・ボルト自体の腐食状態を確認	
内空の変位測定	全線	全線	全線	・トンネルの内空変位を確認	

※¹ 57本のコアのうち、1本については、M20の接着系ボルトのもの

※² 施工出来形調査に用いたコアを複数の試験に供した。数量に重複あり

3.1.2 調査・試験 実施計画書

接着系アンカーボルトの引抜き抵抗力試験等
実施計画書

平成 24 年 12 月 21 日

国土交通省 道路局
国土技術政策総合研究所
独立行政法人 土木研究所

目 次

1. 位置図
2. 目的
3. 実施内容
 - 1) 対象区間
 - 2) 実施体制
 - 3) 実施試験等
4. 試験箇所の選定
5. 個別試験※
 - 1) 打音試験
 - 2) 引抜き抵抗力試験
 - 3) 接着剤分析
 - 4) その他
6. 試験データ及び試料等の保管場所

※ 個別試験の名称は、本実施計画書作成時点のものである。

1. 位置図



※4,417mは天井板の延長。トンネル延長は4,784m

2. 目 的

本試験は、平成24年12月2日に発生したトンネル天井板の落下事故を受けて設置された「トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会」において、指摘のあった接着系アンカーボルトの特性についてデータを収集し、天井板落下事故との関わりや同種事故の再発防止策等の検討に資する目的で現地での試験を行うものである。

- ①接着系アンカーボルトの引抜き抵抗力の確認。
- ②目視・触診・打音の各試験方法の適用性評価。

3. 実施内容

- 1)対象区間 : 笹子トンネル上り線全線

- 2)実施体制 : 本試験の実施にあたり、透明性及び客観性を第一に考え、試験は委員会の確認のもと、主体は国土交通省とし、国土技術政策総合研究所及び独立行政法人土木研究所が試験方法・手順の確認を行い、中日本高速道路株式会社は、必要な資料・資機材の提供や、試験実施等の協力を行う。

- 3)実施試験等 : 打音試験、引抜き抵抗力試験、接着剤分析、その他

4. 試験箇所の選定

トンネル全線の接着系アンカーボルトの引抜き抵抗力に関して、全体的な傾向を把握するために、打音試験及び引抜き抵抗力試験を実施する。
(なお、本試験の目的を達成するのに必要な最終的な試料数は、委員会での意見を踏まえて決定する。)

- ① アンカーボルト管理は、番号管理とする。

- ② アンカーボルト番号は、東京方向に向かって左側のアンカーボルトを対象とし、東京側より付加することとする。

注1)CT鋼の脱落など二次災害の防止を優先するものとし、万全の安全対策のもと各試験を順次実施する。

5. 個別試験

1) 打音試験

- ① 試験開始前に目視により、アンカーボルト頭部及び覆工コンクリートの状態を確認するとともに、アンカーボルト周辺のコンクリート表面の写真撮影を行い記録する。
- ② 1試料に対し、点検員3名(国交省手配)が各々打音ハンマーによりアンカーボルト頭部を打撃し、打撃音が静音か濁音か、反発感の有無により良不良の判定を行う、また、アンカーボルトナット部の打撃及び触診により、ボルト・ナットの緩みの有無を確認する。
- ③ センサー付き打音検査装置を用いて、アンカーボルト頭部を打撃し、打撃音の音圧及び反発力を測定・記録する。

2) 引抜き抵抗力試験

- ① 打音試験を行った試料全数を対象に、アンカーボルトの引抜き抵抗力試験を実施し、アンカーボルト材料の降伏点応力度相当まで载荷(接着剤とアンカーボルト又は接着剤と覆工コンクリート面の部分で破壊した場合は、破壊時の载荷重まで载荷)を行い、引抜き抵抗力の測定及び、载荷荷重変位曲線やアンカーボルトの変位量を記録する。
 - ② 試験機および試験方法は「日本建築あと施工アンカー協会」の技術資料ならびにあと施工アンカー品質試験に一般的に用いられる実績を参考とし、詳細は機器等の保証条件に従う。
 - ③ 試験装置の据え付けに当たっては、極力偏心が掛からないように配慮するとともに、覆工コンクリート面に対して垂直度が悪いものは無理に試験を行わない。
- 注1) 安全な試験実施を図るため、CT鋼の脱落など二次災害の防止を優先するものとし、万全の安全対策のもと試験可能なアンカーボルト、試験方法(CT鋼を存置して引抜き抵抗力試験時の反力をとり実施等)を選定して実施する。
- 注2) 試験終了後の状態(アンカーボルト及びボルト孔、覆工コンクリート、接着剤の状態)を記録する。
- 注3) 引き抜いたアンカーボルトおよび付着したコンクリート、接着剤は材料試験や成分分析などの試験が行えるよう、そのままの状態 で保存する。

3) 接着剤分析

①引抜き抵抗試験を実施したサンプルから、引抜き抵抗強さが良好なケースと不良なケースなど特徴の異なる試験性状を示したものについて、接着剤成分の劣化、変質、物性などに着目した化学分析を行う。

※サンプル A とする。

②①とは別に、引抜き抵抗試験を実施していないアンカーボルトについて、打音試験を実施し、良判定と不良判定となったものをそれぞれ選定し、アンカーボルトを残したまま覆工コンクリートのコア抜きを行いその接着剤について①と同様の接着剤成分の劣化、変質、物性などに着目した化学分析を行う。 ※サンプル B とする。

③分析内容（別途化学分析機関で実施）

○赤外線光分析

赤外線分光スペクトルにより接着剤の種類を判定し、良判定と不良判定の分析結果の比較により化学的変化(劣化)の有無について確認する。

○X線CT(産業用、マイクロフォーカス)分析

取得したコアについて、アンカーボルトとコンクリート付着部分の接着剤の様子(亀裂・接着剤の充填状況等)の存在の有無を確認する。

○赤外線顕微鏡観察

観測面のどの部位に化学変化が起きているかを、調べることにより、接着剤の化学劣化が起きている部位(コンクリートとの界面近くであるのかそれともアンカーボルトとの界面近くであるのかなど)の、劣化の範囲・深さなどを確認する。

○SEM/EMPA(電子顕微鏡/電子線マイクロアナライザ)分析

赤外線顕微鏡観察で使用した試料を金蒸着した上で、EPMA で分析する。SEM 画像により接着剤とアンカーボルト・コンクリートとの界面や接着剤内部の、微細な亀裂の有無を調査する。また、EPMA ではナトリウム、カルシウムなどの元素の分布を調べ、劣化状況を調査する。

注1) サンプル抽出に際しては、専門家の立ち会いのもと決定する。

注2) 試験分析は、類似材料で実績のある方法によるものとし、専門の第三者化学分析機関により実施する。

注3) アンカーボルトを含むコアの採取は天井板撤去時でないため、コアを用いる調査は、当面は採取可能なもの(ボルトが抜けてしまった部分など)による試行とする。

4) その他

① 上りトンネル全線の内空の変位測定

上りトンネル全線について、レーザースキャン測量を実施し、トンネル内空の変位状況を測定し確認する。

② 覆工コンクリート天端部のコンクリートの圧縮強度測定

トンネル全体の覆工コンクリート天端部のコンクリートの健全性を確認するため、引抜き抵抗試験実施箇所の近傍で、シュミットハンマーによる覆工コンクリートの圧縮強度を測定する。測定の圧縮強度平均値が覆工コンクリートの設計強度を下回る箇所について、覆工コンクリートのコアを抜いて圧縮強度を測定する。

注1)シュミットハンマーによるコンクリート圧縮強度測定の方法は、JIS A1155:2012による。

③ アンカーボルト本体の引張り破断試験

アンカーボルト本体の健全性を確認するために、引抜き抵抗試験で採取したアンカーボルトを用い引張り強度を測定する。

(なお、委員会の意見も踏まえて、原因の把握に必要な試験を実施する。)

注1)その他試験についての試験方法及び時期等については別途調整する。

6. 試験データ及び試料等の保管場所

試験データ及び試料等の保管場所は、国土技術政策総合研究所とする。