

施工技術総合研究所

—建設機械の評価と新技術への取り組み—

西ヶ谷 忠 明

施工技術総合研究所における建設機械に係る最近の取組状況を報告する。検査・試験関係について排ガス、騒音、振動、運転員保護構造物、除雪機械等の性能試験を、新技術への取組については国等からの受託業務の概要および民間開発建設技術審査証明の対象分野、新技術開発研究会について紹介する。

キーワード：建設機械、新技術、性能試験、排ガス、騒音、除雪、ROPS、研究開発、審査証明

1. はじめに

施工技術総合研究所は、1964年10月に本協会の付属機関として、メーカ、ユーザのいずれにも偏ることなく、中立的な立場から建設機械に関する試験研究を行うことを目的に設立された（当初は建設機械化研究所と称し、平成14年に現在の名称に変更）。その後、建設機械の信頼性が高まるにつれ、環境対策や安全性の向上を図るための試験、研究、評価や新機種の開発など、建設機械の高度化に取り組んで現在に至っている。また、当所は土木、機械、電気、地質分野等の多彩な技術者や試験装置を擁し、国家的プロジェクトを含む多様な事業において、研究、開発等を実施してきた。

このような実績を背景に、国・公団（当時）等から技術開発や新たな技術の導入検討の依頼が、メーカ・施工会社からは新開発機種の確認試験や審査証明の依頼があり、これに答えている。

ここでは、建設機械分野に関する最近5年間の実績として、民間からの依頼に基づく検査・試験関係の業務及び審査証明事業と、国からの依頼により取り組んだ技術開発課題を紹介する。

2. 建設機械に係る検査・試験

(1) 排出ガス対策型エンジンの検査、評定

建設機械に採用されているディーゼルエンジンは、内燃機関では最も熱効率に優れる反面、排気ガスに含まれるPM、NO_x等の有害物質が問題となり排出ガスの規制が年々強化されている。建設機械のうち、公道を走行するものについては特殊自動車として道路運

送車両法の枠組みのなかで平成15年から規制が開始され、一般に公道を走行することが困難な自動車については特定特殊自動車として平成18年10月から規制が開始されている（特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（通称、オフロード法：環境省、経済産業省、国土交通省））。規制対象となる特定特殊自動車は、原則として、型式指定された特定原動機を搭載しなければならない。当研究所は、特定原動機の型式指定申請にかかる特定原動機検査事務を行うことができる特定原動機検査機関として登録されている。

また、国土交通省では、直轄工事において排出ガス対策型建設機械の使用を義務付け、エンジンの排出ガス基準に適合したものを『排出ガス対策型エンジン』として認定し、認定エンジンを搭載した建設機械を『排出ガス対策型建設機械』として指定している。平成18年からは、オフロード法の適用外となる建設機械（機関出力8kW以上19kW未満の小型建設機械、発電機、コンプレッサ等の可搬式建設機械）についても、第3次基準による指定を開始（排出ガス対策型建設機械の普及促進に関する規程）している。

当研究所では民間よりの依頼に基づき立ち会いにより評定試験を行い、基準に適合するエンジンに対して評定書を発行している。この評定書は、国土交通省に認定申請を行う際、基準に適合することを証明する書類となる。

(2) 低騒音型・低振動型建設機械の証明試験

低騒音型・低振動型建設機械は、国土交通省が機種毎、出力毎に定める騒音または振動の基準値を満足した建設機械で、「低騒音型建設機械」（昭和58年指定開始）または「低振動型建設機械」（平成8年指定開

始)として国土交通大臣が型式指定を行い、生活環境を保全すべき地域で行う工事での使用が推進されている。

騒音及び振動の測定方法は、平成9年建設省告示第1537号「建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法」に定められ、騒音については測定場所の環境条件等が厳しく規定されている。当研究所は、告示の条件を完全に満たす直径約100mの範囲に音の伝搬上の障害物が無く、暗騒音の低い、建設機械の音響パワーレベル測定場を有しており、建設機械メーカ各社の依頼に基づき騒音証明試験を実施している(図-1)。



図-1 音響パワーレベル測定

低振動型建設機械は、バイプロハンマ及び標準バケット山積み容量0.5m³以上のバックホウが対象とされる。告示に定める試験では、バイプロハンマについては鋼矢板打ち込み、バックホウについてはバケットに平積み状態と同じ重量のバラストを固定してブーム、アーム、バケットの急激な動作を行う運転条件のもとで、機械から15m離れた位置における地盤の振動レベルを測定して評価するようになっている。地盤を伝わる振動は、地盤の種類によって異なることが知られているが、告示に定める試験場所は独立行政法人土木研究所(以下、土木研究所)の建設機械屋外試験場となっている。

当研究所は、建設機械メーカから振動証明試験の依



図-2 低振動型建設機械の振動証明試験

頼があると土木研究所に建設機械屋外試験場の使用許可を申請し、当地にて試験を実施している(図-2)。

(3) ROPS, FOPS 試験

ROPSは、建設機械が転倒したときに、シートベルトを着用した運転員が押しつぶされるのを保護することを目的として機械に取り付ける転倒時保護構造(Roll-Over Protective Structures)、FOPSは建設機械運転員の頭上への落下物に対して、適切に運転員を保護することを目的とする落下物保護構造(Falling-Object Protective Structure)をいう。ROPSは、装備する機械の種類、質量により必要な耐力とたわみに関する要求性能を満足する必要がある、試験方法と要求性能基準は日本工業規格(JIS A8010、国際規格ISO 3471と同等)に示されている。当研究所では、この規格に基づいた性能試験を実施している(図-3)。試験は室内で静的な载荷として行い、試験の結果は報告書として依頼者に提出するとともに、依頼者の同意を得て日本建設機械化協会誌「建設の施工企画」に発表している。



図-3 ROPS 試験

また、小型油圧ショベルの横転時保護構造(Tip-Over Protective Structures: JIS A8921, ISO12117)の性能試験も実施している。

FOPS試験は、運転室直上に重錘を落下させて重錘が運転室を貫通せず、運転室の変形が運転手の頭部位置に及ばないことを確認する。落下重錘は小さなコンクリートブロックを想定したレベルI(質量47.0kg)と岩石等を想定したレベルII(297.5kg)があり、落下高さは前者が3m(位置エネルギー1,365J)、後者が4m(位置エネルギー11,600J)である。試験結果は

ROPS と同様に「建設の施工企画」に発表している。

(4) 除雪機械性能試験

当研究所は昭和 47 年から除雪機械の性能試験を実施している。試験方法は、次のとおり JIS あるいは JCMAS に規定されている。

- ・ロータリ除雪車 JIS D 6509
- ・除雪グレーダ JCMAS T 005
- ・除雪トラック JCMAS T 006
- ・除雪ドーザ JCMAS T 007
- ・凍結防止剤散布車 JCMAS T 008

試験は、プラウ系統の除雪機械については北海道で、ロータリ除雪車については中越地方の雪中で主に実施し、凍結防止剤散布車は当研究所のテストコースで主に実施している。試験項目は試験依頼者との協議で決定し、現在のところ除雪能力、散布性能、騒音、視界等を実施している（図—4）。除雪能力は雪質、気温等の影響を受けるため、試験時におけるこれらの条件の確認が重要となっている。



図—4 除雪機械性能試験

3. 新技術への取組

建設機械の技術開発や新しい技術の導入検討等は主に国からの受託として実施している。当研究所の年報において「新機種の開発」として分類したものを過去 5 年間について示すと表—1 のとおりである。

これらの技術開発課題は、特定の企業や業界を対象としたものではなく、広く不特定多数の利益を目的としているもので、緊急のニーズがあるものの民間では商業ベースに乗りにくく、国等が率先して取り組むべきものとなっている。また複数の技術分野に及ぶ知見を要するものや、複数の企業の技術を結集する必要のあるものなど、公平中立な立場での取り組みが必要となるものもある。以下に主な課題について概略を紹介する。

(1) シールドトンネル点検システム開発検討

大深度に構築された放水路トンネル（内径 ϕ 10.6 m）を対象としたシールドトンネルの点検において、特に地震発生後等の緊急時点検など無人で機動性のある初動点検システムとして飛行船を用いたシステムを提案した。現地試験により、飛行船が坑内を自律飛行して撮影した画像を立坑上部にてリアルタイムで受信できることを確認した（図—5）。

(2) トンネル覆工打音点検システム適用性調査

トンネル覆工を対象とした打音検査に広く活用する目的で、平成 12 年度に独自の連続打音方式および打音解析方法を用いた基礎実験、平成 13 年度には車両搭載型の試作機の開発を行ってきた。平成 14 年度は、実用機として新たに製作されたトンネル覆工用の打音点検システムの利便性を向上させるため次の項目を実施した。①詳細解析装置およびソフトウェアの設計・製作、②ソフトウェアの機能確認試験、③トンネル点検車を用いた実トンネルでの適用性調査。平成 15 年度は、延長 3 km の国道トンネルを含む 5 トンネルで現場適用性調査を行い、点検性能及び作業能力を検証し、実用性を確認した（図—6）。

(3) 低騒音舗装の機能維持装置検討

低騒音舗装の機能回復について、機能が低下してから機能回復車により回復作業を行うのではなく、定常的な維持作業により機能を低下させない清掃手法の検討を行うものである。平成 15 年度にブロアー駆動ユニット、清掃ユニット等の架装装置を製作し、平成 16 年度にこれらをベース車両に搭載した（図—7）。架装に先立ち、清掃ユニットを模擬した基礎試験用装置を製作して清掃性能の基本事項に関する実験を行い、ノズル配置、集塵性能等を明らかにした。

(4) 除雪機械の多機能化に関する検討

除雪機械のイニシャルコスト縮減と稼働率向上を目的とするもので、除雪トラックのプラウとロータリ装置による多機能化として、平成 14 年度に脱着可能なロータリ装置を試作した。その結果、最小作業半径の縮小、作業時の視界性の改善が課題となり、平成 15 年度にサイドスライド、アングリング機能を加えたロータリ装置を試作して除雪試験を行い、実用的な最小作業半径 13 m を確認した（図—8）。また、作業視界改善のため CCTV を導入し、視界測定とオペレータ評価をもとに最適な取り付け位置を提案した。

表一 1 技術開発課題の例

件名	委託者	件名	委託者
除雪機械安全性・作業性総合技術評価	国土交通省東北地方整備局 東北技術事務所	法面表層貫入試験機開発検討	国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所
シールドトンネル壁面清掃機械の開発検討	国土交通省関東地方整備局 江戸川工事事務所	埋設物探査システムの開発に関する検討	国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所
シールドトンネル点検システム開発検討	国土交通省関東地方整備局 関東技術事務所	底泥浚渫船機能試験	国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所
トンネル覆工打音点検システム適用性調査	国土交通省関東地方整備局 関東技術事務所	構造物の非破壊計測装置開発	国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所
低騒音舗装の機能維持装置検討	国土交通省関東地方整備局 関東技術事務所	超指向性音源による安全対策技術検討	国土交通省近畿地方整備局 近畿技術事務所
塵埃の可搬式分別装置の技術検討	国土交通省関東地方整備局 関東技術事務所	地中埋設物件の非破壊調査装置の開発検討	国土交通省近畿地方整備局 近畿技術事務所
除雪機械の多機能化に関する検討	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	自動車交通用自動遮断機検討	国土交通省近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所
除雪 ITS 用車両の制御機構に関する検討	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	急勾配法面除草機械の開発に関する検討	国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所
除雪作業支援システム検討	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	小幅トンネル清掃車の開発に関する検討	国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所
排水性舗装清掃車の効率化に関する調査	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	建設機械の安全対策に関する検討	国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所
歩道除雪機械の安全性向上に関する検討	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	水草処理機械開発に関する検討	国土交通省四国地方整備局 四国技術事務所
二次堆雪帯除排雪作業他効率化検討	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	維持用建設機械のユニット化検討	国土交通省四国地方整備局 四国技術事務所
トンネル点検無人調査ユニット技術検討	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	河川環境処理機の開発検討	国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所
遠隔操縦式草刈機の施工効率向上に関する検討	国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所	多機能型除雪機械に関する調査検討	国土交通省北海道開発局 事業振興部防災・技術センター
富士山峡谷部資材運搬手段検討	国土交通省中部地方整備局 富士砂防工事事務所	樋管周辺の遮水壁構築技術に関する要素実験	独立行政法人土木研究所
富士山建設機械無人化施工技术検討	国土交通省中部地方整備局 富士砂防工事事務所	操作するための3次元情報表示技術に関する調査検討	独立行政法人土木研究所
刈草圧縮成型加工装置追跡調査	国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所	建設機械のセンサー等を活用した計測技術検討	独立行政法人土木研究所
水循環式排水管清掃車の開発検討	国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所	コンクリート構造物用接近装置の開発	本州四国連絡橋公団



図一5 飛行船を使った点検システム



図一6 トンネル覆工打音点検システム

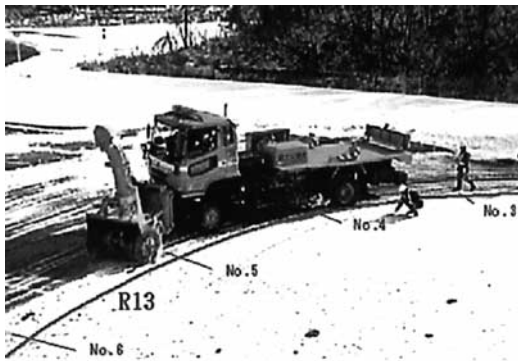
(5) 除雪 ITS 用車両の制御機構に関する検討

積雪寒冷地において行われているロータリ除雪車による冬季道路の維持管理を、より一層、効率化・高度

化することを目的として、ITS 技術として開発されたレーンマーカ、GPS 位置特定技術、道路 GIS などを活用した自動操舵支援システムが開発された。平成



図一七 低騒音舗装の機能維持装置



図一八 除雪機械の多機能化

14年度に自動操舵制御装置及び自動速度制御装置を試作してロータリ除雪車にこれを組み込み、供用中の道路において実際の除雪作業を行い、制御装置の適応性の検討を行った。また、凍結防止剤の自動散布に関して制御装置の設計を行った。

(6) 歩道除雪機械の安全性向上に関する検討

歩道除雪のニーズの高まりとともに、除雪機械運転経験の乏しい地域住民の協力により歩道除雪されることも多くなってきている。本業務は、平成16,17年度に実施したもので、地域住民が行う歩道除雪作業をサポートするため、運転経験が乏しくとも、安全でかつ施工品質及び作業効率の高い歩道除雪機械を提供することを目的として、次の開発を行った。

①雪詰まり防止機構（作業中断の解消→作業効率の向上）、②操作レバーの集約（誤操作等の防止→取り扱い、安全性の向上）、③不陸追従機構（残雪のない除雪→取り扱い、施工品質の向上）、④シャープン構造の変更（交換作業の簡素化→作業効率の向上）。

(7) トンネル点検無人調査ユニット技術検討

地震によるトンネル崩落・崩壊の早期復旧には、被災状況を迅速に把握して復旧活動を実施する必要があるが、余震の続くトンネル内での有人調査は二次災害

の危険性がある。

本業務は、機動力のある小型無人機械を用いてトンネル内部状況を確認し、調査の安全性確保と迅速な状況把握の実現を目指すものである。平成18年度は中越地震後のトンネル災害状況と復旧対応について調査し、無人調査に必要な機能を整理した。次に、現状技術での適応性検討、模擬トンネル及び実トンネルでの実現性検証を行い、その結果をもとに基本仕様を作成した。

(8) 富士山建設機械無人化施工技術検討

富士山源頭部における調査工事は、絶えず落石や土石流の発生する危険性の高い現場であり、人力作業に対する安全確保が急務となっている。この業務は、平成13年度より開発してきた無人化施工機械（吹付システム）について、①ベースマシンのフルラジコン化への改良、②施工管理機械（多眼ステレオカメラ）の小型化、機能性の向上を実施した。

吹付コンクリートの施工管理手法は、従来の9眼式車載カメラから2眼式の車載カメラと固定カメラを組み合わせることで、広範囲の統一座標系で高精度な計測管理を実現した。

(9) 水循環式排水管清掃車の開発検討

現行の排水構造物清掃作業は、排水管清掃車、側溝清掃車及び必要に応じて散水車まで含めた2～3台の作業車を組み合わせて行われているが、駐車スペースに苦慮しているところで、作業車の機能集約が求められている。この業務は、このような背景を踏まえ、排水管清掃車と側溝清掃車の機能を1台に集約した清掃車を開発したもので、回収泥水を浄化して洗浄水として循環使用することにより、散水車まで不要となることを目指した。平成17年度は、完成した当該清掃車を使用して現場実証試験を行い、実用機の仕様を決定



図一九 水循環式排水管清掃車

するための課題の抽出および作業手順書（案）の作成を行った（図—9）。

（10）法面表層貫入試験機開発検討

吹き付け法面の維持管理では、吹き付け材自身の健全度や背面地山の風化の程度を把握することが重要であるが、急傾斜で高所作業となる吹き付け法面の点検・調査は、非効率な苦渋作業となっている。この業務は、吹き付け法面の点検・調査を安全で効率よく実施するための機器開発を行ったものである。平成16年度は、当研究所構内で基礎削孔実験を行って表層地山評価指標を検証するとともに、前年度作成した調査要領（案）に基づいた法面調査を実現場で実施し、試験機の性能・作業性の確認、現場での適用性及び課題抽出を行った。

（11）構造物の非破壊計測装置開発

安全な社会資本を形成するため、工事完成時や供用後の状態の確認が困難である不可視部については、適切な検査・管理態勢が求められている。これらのうち、車道・歩道の境界に設置されている車両逸脱防止のための防護柵は、道路安全確保上極めて重要な施設であるが支柱の地中埋込み部分は、確認が困難な不可視部の一つである。この業務は、この既設防護柵支柱の地中埋込み深さを効率的・効果的に調査できる検査・管理体制を確立するため、加速度センサーを用いた衝撃弾性波法により支柱の根入れ深さを簡便・迅速・正確に測定できる装置を開発したものである（図—10）。



図—10 防護柵支柱の地中埋込深さ検査

（12）埋設物探査システムの開発

大規模地震災害等で緊急輸送路が土砂崩壊等により被災した場合、緊急復旧計画を早期、適切に立案するため、車両等の埋没の有無を速やかに把握する必要がある。この業務は、災害現場に有効な埋設物探査シス

テムを開発するもので、平成18年度において前年度に試作した探査装置を用いて、探査結果の表示システムの検討と実探査に向けた探査手法確立のための調査を行った。また、これまでの成果を踏まえて埋設物探査システムの実用機設計と災害時埋設物探査マニュアル案の整理を行った。

（13）急勾配法面除草機械の開発に関する検討

この業務は、河川堤防法面または道路法面の急勾配（30度程度以上の）法面においても安全で効率の高い除草作業を可能にする新たな除草機械を開発することを目的に実施したものである。平成18年度は、前年度までに製作した試作機について構内試験及び現場での連続作業を行い、抽出された課題を反映させて実用機的设计を行った（図—11）。



図—11 急勾配法面除草機械



図—12 小幅トンネル清掃車

(14) 小幅トンネル清掃車の開発に関する検討

現行のトンネル清掃車は車道からブラシアームを伸ばして清掃するため、歩道幅員が3m程度のトンネルまでしか対応できない。しかし、平成13年の道路構造令の改正により、今後は広幅員の歩道を持つトンネルが増えることが予想され、何らかの対策が必要となっている。この業務は、このような背景を踏まえ、広幅員歩道を有するトンネルにおいて、歩道上を走行して壁面を清掃する機械を開発するものである。平成18年度は、前年度に引き続いて試験用清掃車を製作し、実際のトンネルにおいて実証試験を行い、実用機の仕様決定に向けた課題の抽出を行った(図—12)。

(15) 維持用建設機械のユニット化

道路維持用機械や災害対策用機械のほとんどは、トラック系車両をベースとしており、ベース車両自体は共通している部分が多い。今後、維持管理費用の縮減が望まれる中で、共通している部分は共通化し、維持コスト縮減に寄与していく必要がある。この業務は、ベース車両と、架装する作業ユニットの開発を行って各作業の効率的な運用を図りコスト縮減を目指すもので、平成18年度は要素試験装置を製作し、ベース車両と作業ユニットの締結構造の信頼性、脱着作業性等の確認を行った。また、作業標識ユニット、照明ユニット及び散水ユニットの詳細設計を行った。

(16) 河川環境処理機の開発検討

九州地方の一部の河川において、ホテイアオイやブラジルチドメグサ等の外来水草の異常繁殖が確認されており、大きな問題となっている。このため、行政はもとより地域住民の協力も得て、大がかりな海戦術で水草回収作業を行っているのが現状である。この業務は、水草回収作業の省力化を目的として、バックハウ・アタッチメント方式の水草回収装置ならびに水草回収装置によって回収した水草をダンプトラック荷台



図—13 河川環境処理機

へ空気輸送する搬送装置の開発を行ったものである(図—13)。

(17) 操作するための3次元情報表示技術に関する調査検討

国土交通省は、総合技術開発プロジェクト「ロボット等によるIT施工システムの開発」を平成15年からスタートし、災害復旧、無人化施工に使用する建設ロボット技術開発検討を進めている。建設ロボットは、現状では完全自動化が実現できる段階ではなく、ロボットとオペレータが協調して作業する人-機械協調型のシステムとして考えるのが妥当である。この業務では、施工時における建設ロボットとオペレータの役割分担の分析・検討を踏まえて、施工指示、現況地形および作業目標等の3次元情報を表示/交換できるロボットとオペレータのインターフェースの検討を行ったものである。平成18年度は一部自律的な施工を可能とする、油圧ショベルをベースマシンとした建設機械ロボットの開発を目的として、現地地形と設計の3次元情報を活用したIT施工の操作システム(マンマシンインターフェース)の試作・検証等を行った。

4. 建設技術審査証明事業

この事業は、平成12年まで、建設大臣告示に基づいて建設大臣から認定を受けて14の公益法人が行ってきた「民間開発建設技術の技術審査・証明事業」の実績を踏まえて、平成13年に建設技術審査証明協議会(14の公益法人で構成)が創設した事業である。民間で自主的に開発された新しい建設技術の内容について審査・証明を行うことにより、民間における技術開発の促進と新技術の建設事業への適正かつ迅速な導入を図り、建設技術水準の向上に寄与することを目的とする。当協会は建設機械化技術を対象として、機械・設備・器具等の開発、改良、製作、運用、管理等に関する技術の審査証明を行っている。具体的な対象技術の例をあげると次のとおりである。

- ・ 建設機械の自動化技術
- ・ 情報化施工、無人化施工機械・システムに係わる開発技術
- ・ トンネル、基礎等の掘削技術、探査・検知技術等に係わる開発技術
- ・ 建設機械の振動抑制機構、排ガス浄化装置等の新しい機械、機構、装置の開発技術

5. 新技術開発研究会

この研究会は、建設分野における新たな技術開発ニーズに的確に対応するため、施工技術総合研究所と大学・企業等関連する機関が協力して、新機種・新工法・新材料等の技術開発を行うことを目的とするものである。研究会の会長は当研究所の所長とし、会長は研究テーマに応じて部会を設立する。部会は、各部会の設立趣旨に賛同する大学・企業あるいは個人ならびに研究所の担当者で構成し活動する。これまでに図-14に示す部会が設立されている。

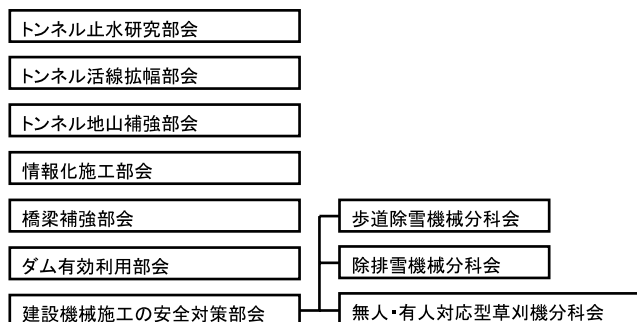


図-14 新技術開発研究会

6. おわりに

本報文では、施工技術総合研究所における建設機械に関する検討課題を中心に紹介したが、当研究所では橋梁、トンネル等土木構造物の設計・施工支援、維持管理や、IT施工システムの開発なども実施している。特に6,000 kNの大型疲労試験設備は、世界に希な試験装置であり、今後とも土木に限らず多分野での活用が期待される。

これらの幅広い分野での業務を通じて培った確かな技術力は必ず社会のお役に立てるものと確信している。

JCMA

《参考文献》

- 1) 佐々木：建設機械の運転員保護構造物の試験方法と実績，建設の施工企画（2006.8）
- 2) 西ヶ谷・佐々木：除雪機械の性能試験方法，建設の施工企画（2004.11）
- 3) 施工技術総合研究所年報，平成14年～平成18年

【筆者紹介】

西ヶ谷 忠明（にしがや ただあき）
 施工技術総合研究所
 研究第四部
 部長

