

## 投稿論文

# 建設機械による実機実験法に関する考察

—油圧ショベルの遠隔操作等を対象として—

藤野 健一<sup>1</sup>・橋本 毅<sup>2</sup>・山田 充<sup>3</sup>・山内 元貴<sup>3</sup>・油田 信一<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人土木研究所総括研究監 技術推進本部 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)  
E-mail: fujino@pwri.go.jp

<sup>2</sup> 国立研究開発法人土木研究所主任研究員 技術推進本部 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)  
E-mail: t-hashimoto@pwri.go.jp

<sup>3</sup> 国立研究開発法人土木研究所研究員 技術推進本部 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)  
E-mail: m-yamada@pwri.go.jp, yamauchi-g573bs@pwri.go.jp

<sup>4</sup> 芝浦工業大学客員教授 SIT 総合研究所 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)  
E-mail: yuta@ieee.org

コンピュータ計算速度の飛躍的な向上と、解析ソフトウェアの発達によって、建設機械を研究対象としその機体本体や周辺における現象を分析する研究においても、近年実機を用いた実験に比べ数値シミュレーションにて解析をする研究が増えている。しかしながら、実機を用いた実験が数値シミュレーションに比べ必要性や重要性が低いわけではなく、よりよい研究成果を得るためには、実機実験と数値シミュレーションを適切に使い分けるべきであるといえる。実機実験を行う上での一つの課題として、実際の建設施工を可能な限り再現しつつすべての因子を把握・調整することが非常に難しいことが挙げられる。そのような条件統制を行うためには、建設機械のみではなく、建設施工、土質工学等の幅広い知識が必要であるが、適した人材は少なく、実機実験をどのように行うかなどのガイドなども現状存在していない。そこで本論文では、油圧ショベルを用いた実機実験における条件統制の方法をまとめたガイドを作成することを目標に、これまで蓄積した経験を基に実験条件の調整・検討方法を「実験モデルと評価基準」「機体本体」「周辺環境」にわけてまとめることを行った。

キーワード: *construction equipment, hydraulic excavator, actual experiment*

## 1. はじめに

コンピュータ計算速度の飛躍的な向上と、解析ソフトウェアの発達によって、近年ではいろいろな分野で数値モデルを用いた数値シミュレーションが比較的容易に高速で行えるようになってきている。このため、建設機械による施工作業の方式やそのシステムの研究においても、建設機械や環境をモデル化することによりシミュレーションに基づく解析や検討が実機を用いた実験に比べ多く行われている。

例えば機械・ロボット関係の研究者が多く投稿する、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 および 2018 において、2017 年は総論文数 1276 編中、建設機械を研究対象としている論文は 23 編、そのうちシミュレーションを行っている論文は 16 編、実機実験を行っている論文は 7 編、2018 年は総論文数 1315 編中、建設機械を研究対象としている論文は 24 編、そのうちシミュレーションを行っている論文は 15 編<sup>1)</sup>、実機実験を行っている論文は 9 編<sup>2)</sup>である。

しかしながら、実機を用いた実験が数値シミュレーションに比べ必要性や重要性が低いわけではない。なぜなら、数値シミュレーションのために建設機械本体や周辺環境、特にオペレータの動作や地盤と建設機械の相互作用を完全に再現するモデルを作ることは困難であり、シミュレーションだけではその結果の信頼性の確認ができないためである。したがって、確かな研究成果を得るためには、実機実験と数値シミュレーションを評価・検討すべき内容に応じて適切に使い分ける必要がある<sup>3)</sup>。しかしながら前述の調査結果によると、現状では限られた研究機関でしか実機を用いた実験は実施されていないようである。

実機実験の実施が難しい原因の一つとして、実機を用いた場合の実験条件を設定・調整することが難しいことが挙げられる。科学的検証を実験にて行う場合、条件統制すなわち「変数をひとつに限定し、その他の変数はすべて同じにして実験すること」が重要である<sup>4)</sup>が、実機実験において実際の建設施工を可能な限り再現しつつ

すべての因子を把握・調整することは非常に困難である。従って、実験条件にある程度のランダムネスを許容しつつ、できる限りの条件統制を行うことが重要であるが、そのためには建設機械のみではなく、建設施工、土質工学等の幅広い知識が必要である。しかし適した人材は少なく、実機実験をどのように行うかなどのガイドなども現状存在していない。

(国研)土木研究所では、油圧ショベル自律化の検討や、無人化施工における遠隔オペレータへの情報の提示法などについて研究を進めているが、主に土木研究所内にある実験フィールドで、実機と実際のオペレータを用いて実験を行うことにより研究を進めてきた(図-1)<sup>5)~9)</sup>。これら研究・実験の経験などから、実機実験を行う場合には前述の条件統制が必要であるにもかかわらず、実機・実験環境には実に様々な条件が錯綜しており、すべての因子を把握・統制することは非常に困難であることが判明してきており、様々な検討を行ってきた。今後様々な研究者が実機実験を有効に数多く実施するためには、我々のこの経験を広く共有することが重要ではないかと考えている。



図-1 油圧ショベルを用いた実機実験<sup>5)~9)</sup>

そこで筆者らは、これまで行ってきた実験の進め方に関する検討過程と、実験にて蓄積した条件統制のノウハウを体系的にまとめることにより、実機実験の行い方を示すガイドを作成したいと考えている。本論文では、油圧ショベルを用いた実機実験における条件統制の方法をまとめたガイドを作成することを目標に、実験条件の調整・検討する際に検討すべき項目とその検討方法、および検討する際の注意事項等を「実験モデルと評価基準」「機体本体」「周辺環境」にわけて報告する。

## 2. 実験モデルと評価基準の考え方

油圧ショベルの実機実験を行う場合、実験モデル(実際に行う作業など)と計測・評価するパラメータを決定

する必要がある。これらは実験の目的に合致したものを選定する必要があるが、同時に条件統制が可能であること、客観性・再現性があることなども必要である。本章では、これら実験モデル、評価パラメータを決定する際に注意すべき点について述べる。

### 2.1. 実験モデル選定における作業の切り分け

油圧ショベルの動作は、大別して走行動作と作業機(ブーム、アーム、バケット)の操作に分けられる。実験モデルを、その双方を含む一連のものとするか、各々分けたものとするかは、実験結果の分析に大きな影響を与える。実作業への適用性を考えると、実作業を模した実験モデルにより一連の工程の中で評価すべき事項を検討することが望まれる。しかし、2つ以上の動作を含む実験モデルを採用した場合、実験後に得られたデータ(作業の所要時間など)をそれぞれの動作ごとに分離することは難しい場合が多い。なぜなら、熟練度が高いオペレータの場合、両動作の切り替え時に走行と作業機の操作を同時に行う時間が発生し、両者を完全に分離できないことが普通だからである。したがって、実験の目的や対象とする実作業、実験の実現性を考慮し、一連のものとするか、各々分けたものとするか実験モデルを決定する必要がある。

例として筆者らは、土の掘削・積み込み作業を模した走行・掘削の一連の動作を実験モデルとし実機実験を行った<sup>5)</sup>。ここでは、実験の目的(遠隔操作と搭乗操作の作業効率を比較する)から動作を分離する必要はないとし、一連動作にてデータ解析を行っている。

### 2.2. 実験モデルにおける作業の選定

油圧ショベルの作業は数多くの種類があるが、例えば実際の掘削・積み込みを再現するためには、実際の土を用いた掘削・積み込みを実験作業とすることが最も忠実である。しかし、実際の土を用いる実験では、繰り返し実験において毎回の条件(例えば土の粒度分布、密度、含水比など)を同一とすること(すなわち条件統制)が極めて難しく、さまざまな工夫が必要である。

工夫の例として、筆者らは人工の対象物(図-2)を土の代替として掘り上げる一連の動作を策定し実機実験を行った<sup>5)</sup>。もちろん、この対象物は実作業における対象物(土)とは大きく異なっている。特に土が有する不確定性(粒度分布、密度、含水比など土の性状を大きく変化させるパラメータ)が排除されていることには注意を要するが、この作業モデルは、実験の実現性や再現性を優先して策定されたものである(詳細は参考文献5)を参照)。また、別の工夫例として、体積と質量が定義可能

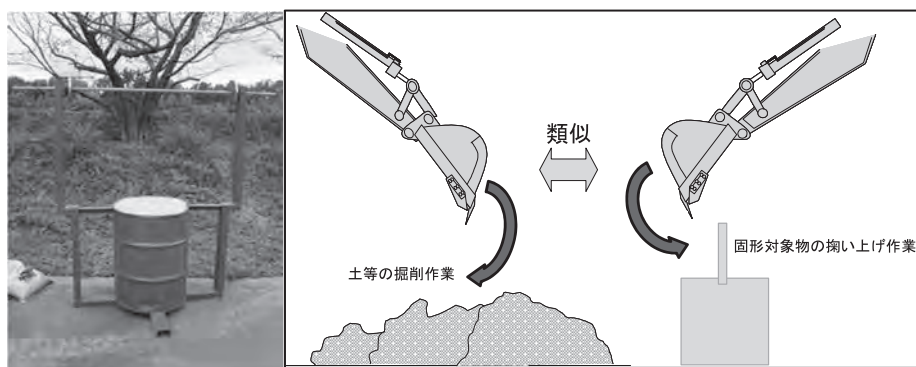


図-2 固形対象物<sup>5)</sup>

表-1 実験モデル検討方法

検討項目	検討方法	検討時の注意点
実験目的と作業の切り分け	「走行・作業など動作を分けたモデル」にするか、「複数の動作を含んだモデル」にするか、決定する。	複数の動作を含んだモデルにした場合、動作の切り分けが難しい。
実験モデル (土の掘削・積み込みを対象)	「実際の土の掘削、積み込み」にするか、「人工物を用いた疑似作業（例えば図-2のような人工対象物や体積・質量が既知な小球体など）」にするか、決定する。	実際の土を用いた場合、土質条件（粒度、含水比、密度など）を均一に調整することは困難。 人工対象物を用いた場合、各アクチュエータの動きなどが実際の作業とは厳密には異なる。 小球体などは実際の土とは挙動が異なる。

表-2 評価基準例

評価項目	評価基準	測定方法 (例)	注意点
施工効率	時間	ストップウォッチ <sup>5)</sup>	土を用いた場合、含水比等の影響を受ける <b>4.3. 参照</b>
	施工量 (質量)	質量計	
	施工量 (体積)	レーザスキャナ	
	燃料消費量	燃料流量計 エンジン回転数とCO <sub>2</sub> 濃度 <sup>10)</sup>	
環境への影響	排出ガス量・濃度	流量計・FTIR <sup>10)</sup>	天候の影響を受ける <b>4.3. 参照</b> 実験地盤の影響を受ける <b>4.2. 参照</b>
	騒音	マイクロフォン	
	周辺地盤の振動	加速度計	
オペレータ負担	疲労度	心拍数 <sup>11)</sup>	心拍数=疲労度とは限らない
		アンケート (NASA-TLX <sup>12)</sup> など)	
	オペレータ視線	アイマークカメラ	
作業の正確さ	カラーコーン、対象物などにぶつかった回数	ビデオ、目視 <sup>6), 11)</sup>	
作業の丁寧さ	機体・対象物の加速度	加速度計	

な材料(小球体など)を選択することも考えられる。何れにせよ、実験条件統制の可否は作業モデルを決める上で重要なファクタであるが、実作業との間で油圧ショベル各アクチュエータの動作や、対象物の挙動は実際の土とは違うことなどに注意が必要である。

2.1. と 2.2. にて述べた、実験モデル決定の考え方の一例を表-1 に示す。

### 2.3. 評価パラメータ

油圧ショベルによる作業システムにおいて、システム

の有効性を評価することを実験の目的とした場合、その目的に合わせた評価基準を選択し、実験ではそれに必要なパラメータを計測する。例えば、施工効率を評価したい場合は、時間や施工量(土量など)、燃料消費量などとなり、また周辺環境への影響を評価したい場合は、排出ガス、騒音、振動などとなる。

評価基準とその測定方法、注意点などの一例を表-2 に示す。表-2 には、それら評価基準を用いた実験を行っている参考文献も記載する。

### 3. 機体本体条件の考え方

油圧ショベルの実機実験を行う場合、油圧ショベル本体のパラメータを実験目的に合致するように調整する必要がある。本章では実験を行う際に考慮すべきパラメータとその調整時に注意すべき点について述べる。

#### 3.1. エンジン回転数

図-3(実線)に土木研究所が保有する油圧ショベル(日立建機：ZX120)のエンジン性能曲線のうち、エンジン回転数とエンジン出力の関係を抜粋する<sup>13)</sup>。図-3(実線)によるとエンジン回転数の増加と共にエンジン出力もほぼ同じ割合で上昇している。エンジン出力は油圧回路の圧力と流量に使用されるため、図-3(実線)は負荷が同一(圧力が同一)ならばエンジン回転数の増加と共に油圧アクチュエータの速度もほぼ同じ割合で上昇する、すなわち油圧アクチュエータ速度がエンジン回転数の影響を大きく受けることを表している(実際には各種調整弁や圧力損失などの影響により比例割合は多少異なる)。図-3(破線)に、実際にこの油圧ショベルのアームを空中で全縮から全開まで動かした時にかかる時間をエンジン回転数ごとに測定した結果を示す。この実験結果からも油圧ショベルにおける油圧アクチュエータ速度はエンジン回転数の影響を大きく受けていることがわかる。

従って走行や作業の実験条件をコントロールするためにはエンジン回転数を正確に調整する必要がある。しかしながら、多くの油圧ショベルにおけるエンジン回転数の調整は図-4に示すようなダイヤル式であり、かつエンジン回転数計も装備していない。従って、誤差数%以内の調整は可能であるが、正確な回転数の調整は難しい。目的にもよるが正確なエンジン回転数調整を行いたい場合は、別途エンジン回転数計の用意が必要である。なお、一部の油圧ショベル(最近のもの)は、エンジン回転数計を装備しているものもある。回転数をオペレータ

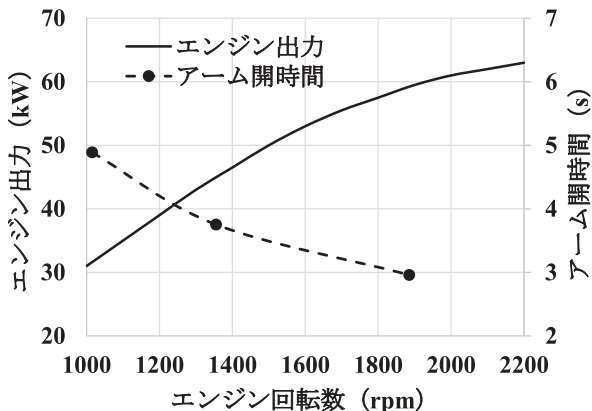


図-3 エンジン回転数-エンジン出力・アーム開時間

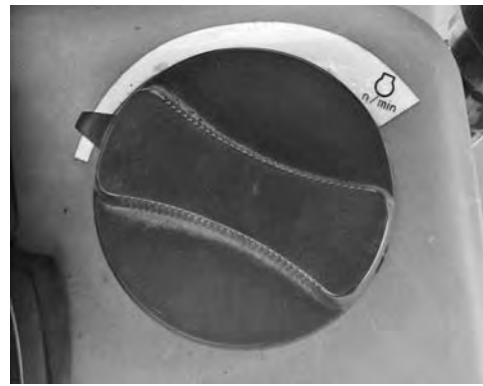


図-4 エンジン回転数調整ダイヤル

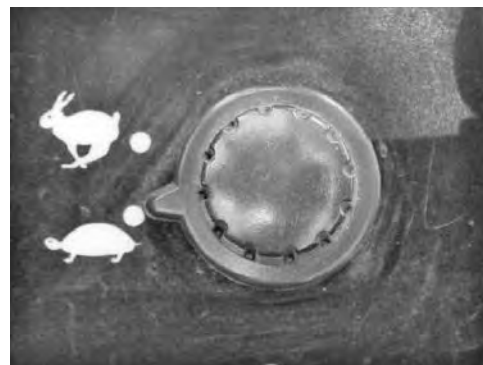


図-5 走行速度切替スイッチ (ウサギが高速、カメが低速)

へ表示しない場合もあるが、その場合車内ネットワーク(CAN など)には情報として存在しているので、モニタ可能かメーカーに問い合わせるとよい。

また、十分な暖機運転を行わないと、回転数調整ダイヤルが同一の位置でもエンジン回転数が異なる場合もある。特に冬季などには注意が必要である。暖機運転の方法やその時間等は、機種や作業環境などによって異なるため、使用する機種の取扱説明書を参考にすればよい。

また、多くの油圧ショベルでは走行速度の高-低切替スイッチが存在する(図-5)。このスイッチにより走行速度が大きく異なるので、実験の際には統一する必要がある。オペレータによっては無意識にこのスイッチを操作する場合があるので、事前の説明など注意が必要である。

#### 3.2. 作動油温度(粘度)

作動油の粘度が著しく高い場合、油圧機器の速度に影響を及ぼす場合がある。作動油温度が推奨使用範囲内であれば問題はないが、冬季などは十分な暖機運転を実施するなど注意が必要である。この場合、エンジンの暖機運転のみではなく、油圧機器の暖機運転を行うことが必要である。方法は取扱説明書などに記載されている。(土木研究所が所有しているショベルでは、ゆっくり前後進を数回行う、ゆっくり油圧シリンダ伸縮を数回行う、となっている<sup>13)14)</sup>。)

### 3.3. 操作パターン

オペレータによっては、油圧ショベル操作パターンが通常使い慣れているものと異なると、施工効率が大きく低下する場合がある。従って、油圧ショベル操作パターンは、実験毎の条件を同一にするより、オペレータの習熟(使い慣れている操作パターン)に合わせるべきである。したがって同一の実験であってもオペレータ毎に操作パターンが異なることもありえる。オペレータが習熟している操作パターン、および実験に使用する油圧ショベルの操作パターン(切り替え可能か否か)などを実験前に調査しておくことが重要である。

### 3.4. その他の機体本体条件

上記以外で実験に影響を及ぼす可能性のある機体本体条件としては、機体フレームやクローラなどの構造体の機体ごとの差異や、可動部の摩擦抵抗などが考えられる。これらの条件を把握・コントロールすることは非常に難しいため、同一の油圧ショベルを同時期に使用する場合は、上記条件は同一である、として実験を行うことが現実的と考えられる。しかし、都合により同じ機体を使用できず同メーカーの同機種を使用する場合や、同一機体であっても年月が経過してしまった場合は、上記条件の機体による個体差(摩擦などの経年変化も含む)が存在すると考えられる。そのため、可能ならば同一エンジン回転数における走行速度や油圧シリンダ伸縮速度などを測定し、その差異を把握しておくべきである。

3.1. ~ 3.4. にて述べた、実験を行う際に考慮すべき機体本体条件とその検討方法、注意点の一例を表-3に示す。

## 4. 周辺環境条件の考え方

油圧ショベルの実機実験を行う場合、油圧ショベル本

体以外の周辺環境も実験目的に合致するように調整する必要がある。しかしながら、多くの周辺環境は実験者の意のままにコントロールすることは非常に困難である。本章では実験を行う際に考慮すべき周辺条件とその調整時に注意すべき点について述べる。

### 4.1. 実験場所

実験を行う実験場を、屋内にするか(図-6)、屋外にするか(図-7)、決定する必要がある。屋内の場合、次節以降に述べる実験地盤、天候の影響を低減することが可能となる利点がある。一方屋外の場合、実際の施工現場をより忠実に再現できる利点がある。実験目的等から選定すべきである。

実験場所を決定する際、オペレータの操作が評価に大きく影響する実験においては、実験場所の周囲に存在するもの(屋内ならば周辺の柱や窓、屋外ならば建造物や立木など)がオペレータにとって作業の目印になり得ることには注意が必要である(実際に周辺物を目印にして作業を行っているオペレータも存在している)。周辺物が目印となると、実験結果がその実験場所に限られたデー



図-6 屋内実験場

表-3 機体本体条件検討方法

検討項目	検討方法	検討時の注意点
エンジン回転数	エンジン回転数、走行速度切替スイッチは実験条件として正確に決定する。	多くの油圧ショベルで、エンジン回転数はダイヤル式であるため、別途エンジン回転数計が必要。 実験前にエンジンの十分な暖機運転が必要(暖機運転方法は取扱説明書参照)。
作動油温度(粘度)	実験前に作動油温度が推奨使用範囲内であることが必要。	実験前に作業機の十分な暖機運転が必要(暖機運転方法は取扱説明書参照)。
操作パターン	どの操作パターンにて実験を行うか、決定する。	オペレータが習熟しているパターンにて実験を行うほうがよい。 オペレータ習熟パターン、使用する油圧ショベルのパターンを実験前に調査しておくことが必要。
その他(構造体の差異や摩擦抵抗など)	実験条件として統制することは難しいため、同一の機体で実験を行うのが現実的である。	やむを得ず、異なる機体となった場合、その差異を把握しておく方がよい(同一エンジン回転数での速度差など)。



図-7 屋外実験場



図-8 敷鉄板

タになってしまい、結果の一般化を考察する際に疑問点として残ってしまうからである。特に屋内の場合は、近くに多数の構造物が規則的に存在していると、オペレータの操作に影響を与える可能性が大きいため、注意が必要である。対策例としては、周辺構造物からの距離をなるべく大きくとることや、実験の向きを工夫して構造物をオペレータ視線から外すことなどが考えられる。

4.2. 実験地盤

実験時の地盤状況は、走行速度などに影響を与える。特にクローラの沈下量が走行抵抗に与える影響は大きい<sup>15)</sup>ため、実験条件を統制するためには地盤状況をコントロールすることが必要である。地盤状況は、土質(材料)、含水比、密度などによって大きく変化するため、実験中の土質、含水比、密度の変化に注意が必要である。

また、実験を繰り返すと轍掘れが発生し、走行条件の変化や、走行の目印の発生により実験条件が変化してしまう可能性もある。そのため実験毎に整地を行うか、走行経路を変化させて深い轍掘れが発生しないようにするなどの工夫を行う必要がある。

対策例として図-8に示すような敷鉄板や、コンクリート上などで実験を行うと、上記の地盤状況変化や轍掘れといった問題は発生しない。しかし、実際の施工現場とは異なる可能性があることと、ゴムクローラ以外には不向きであることに注意が必要である。

4.3. 天候

実験時の太陽の位置によって、オペレータの見え方などに影響が出るため、実験条件が異なる可能性がある。また、機体や対象物、周辺構造物などの影の有無や影の位置などによっても条件が異なる可能性がある。そのため、実験実施可能な天候条件や実験開始時間などを明確に決定する必要がある。

また、4.2.に述べたように、地盤や対象土砂の含水比は、実験条件に大きく影響する可能性がある。そのため雨天時に実験を実施するかどうかは慎重な判断が必要である。

風は比較的实验に影響を及ぼす可能性は低いが、表-2に示した騒音を評価基準とした場合、影響を考慮する必要がある。

4.4. オペレータ

建設機械オペレータの能力を表す指標は無く、操作方

表-4 周辺環境条件検討方法

検討項目	検討方法	検討時の注意点
実験場所	屋内（天候の影響が低い）か屋外（実際の施工条件に近い）か、決定する。	周辺に存在するものが実験モデルを実施する際の目印にならないよう注意が必要（特に屋内の場合）。（周辺構造物からの距離を大きくとることや、実験の向きを工夫する）
実験地盤	実験時の地盤状況を決定する。	意図しない変化が起こらないように土質、含水比、密度等をコントロールすることが必要。 繰り返し実験による轍掘れが実験条件を変化させないように、実験毎の整地などの工夫が必要。 敷鉄板やコンクリート床ならば地盤が実験に与える影響は少ない。しかし実施工とは異なる可能性がある。
天候	実験実施可能な天候条件（日照、降雨、風速など）や実験開始時刻を決定する。	特に降雨は地盤条件などに大きく影響するため、注意が必要である。
オペレータ	オペレータ条件（年齢、経験年数、など）を決定する。	オペレータ技能は個人差が大きいため、無作為で抽出した多数のオペレータにて実験を行うほうがよい。

法などに関する一般的なテキストなども現在存在していない。従ってオペレータの能力は、指導を受けた方、経験してきた業務内容などによって大きく異なり、経験年数が同様であっても、同様な能力、同様な操作方法であるとは限らない。そのため実験を行う際には、オペレータ条件(年齢, 経験年数, など)を決定し, なるべく無作為で抽出した多数のオペレータにて実験を行うことがよいといえる。

4.1. ~ 4.4. にて述べた, 実験を行う際に考慮すべき周辺環境条件とその検討方法, 注意点の一例を表-4 に示す。

## 5. まとめ

前章までにて, 筆者らがこれまで蓄積した経験を基にした実機実験における実験条件の調整・検討方法を「実験モデルと評価基準」「機体本体」「周辺環境」にわけて述べた。この報告がこれから実機実験を行う研究者の参考となれば幸いである。

今後は, これまで筆者らが行ってきた実機実験をさらに改良し, 実機を用いた様々な研究を進めていきたい。

### 参考文献

- 1) 例えば, 大隅久, 川島裕季, 津田智混, 佐野祐介, 呉春男: バックホーにおける消費エネルギーを考慮した掘削位置の最適化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2A2-A03, 2018.
- 2) 例えば, 山内元貴, 橋本毅, 藤野健一: HMD を用いた遠隔操作型油圧ショベルの視覚提示システムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2A2-A04, 2018.
- 3) 高崎育夫, 筒井桂一郎: 数値解析と実験解析の相互活用, 騒音制御, Vol.24, No.5, pp.315-322, 2000.
- 4) 小泉治彦: 理科課題研究ガイドブック, 千葉大学先進科学センター, 2011.
- 5) 茂木正晴, 油田信一, 藤野健一: 油圧ショベルの遠隔操作による作業の効率評価のためのモデルタスクの提案, 建設機械施工, Vol.66, No.8, pp.71 ~ 79, 2014.
- 6) 茂木正晴, 西山章彦, 橋本毅, 藤野健一, 油田信一: 油圧ショベルの遠隔操作における視覚及び操作系インターフェースの違いによる作業効率の向上について, 第 16 回 建設ロボットシンポジウム論文集 (CD-ROM), O6-4, 2016.
- 7) 藤野健一, 橋本毅, 油田信一, 建山和由: 無人化施工に最適なオペレータの選抜手法に関する研究, 土木学会論文集 F3, Vol.74, No.1, pp.11-17, 2017.
- 8) Takeshi HASHIMOTO, Genki YAMAUCHI, Kenichi FUJINO, Shinichi YUTA and Tateyama KAZUYOSHI: Study of Operator's Line of Sight in Unmanned Construction Systems, SSRR 2018 (CD-ROM), 2018.
- 9) 山内元貴, 橋本毅, 藤野健一: 車載カメラのみを利用した遠隔操作型油圧ショベルの作業効率評価, 第 73 回土木学会年次学術講演会, pp.1389-1390, 2018.
- 10) 吉永弘志: 排出ガスの測定値から読み解く燃費・熱効率と燃費改善策, 平成 29 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp.131-136, 2016.
- 11) 橋本毅, 梶田洋規, 藤野健一: MC 技術が施工品質とオペレータへ与える影響について, 第 17 回建設ロボットシンポジウム論文集 (CD-ROM), O3-1, 2017.
- 12) 芳賀繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定, 人間工学, Vol.32, No.2, pp.71-79, 1996.
- 13) 日立建機 ZX-120 取扱説明書
- 14) 日立建機 ZX-35U 取扱説明書
- 15) テラメカニクス研究会: 履帯の設計工学, pp.33-36, 2000.

(2019.4.16 受付, 2019.8.25 採用決定)

## CONSIDERATION OF EXPERIMENT METHOD USING REAL HYDRAULIC EXCAVATOR

### - For remote control type hydraulic excavator -

Kenichi FUJINO<sup>1</sup>, Takeshi HASHIMOTO<sup>2</sup>, Mitsuru YAMADA<sup>3</sup>,  
Genki YAMAUCHI<sup>3</sup>, and Shinichi YUTA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Deputy Director of Construction Technology Research Department, Public Works Research Institute

<sup>2</sup> Senior Researcher, Advanced Technology Research Team, Public Works Research Institute

<sup>3</sup> Researcher, Advanced Technology Research Team, Public Works Research Institute

<sup>4</sup> Visiting Professor, SIT Research Laboratory, Shibaura Institute of Technology

Due to the drastic improvement in computer calculation speed and development of analysis software, research using construction equipment is also increasingly using numerical simulation. However, the necessity and importance of experiments using real machines is not low compared to experiments using numerical simulations. In order to obtain better research results, experiments using real machines and numerical simulations should be used in a balanced manner. One of the problem in taking out experiments using real machine is that it is very difficult to control all factors of the real construction site (condition control). In order to make such condition control, wide range knowledge is necessary not only for construction equipment but also construction method, soil engineering and so on. However, at present, there are few suitable talent, and there are no guidelines, etc. how to make condition control. In this paper, we have compiled the experience accumulated so far with the aim of preparing guidelines summarizing the method of condition control in experiment using real hydraulic excavator.