

# コンクリートのはつりに関する衝撃解析と既設コンクリートへの影響

Impact Analysis of Chipping Concrete and It's Influence on Existing Concrete Structure

(株)砂子組 土木部 ○正 員 平島博樹 (Hiroki Hirashima)  
 (株)砂子組 土木部 正 員 近藤里史 (Satoshi Kondo)  
 (株)砂子組 顧問 正 員 佐藤昌志 (Masashi Sato)  
 室蘭工業大学 正 員 小室雅人 (Masato Komuro)

## 1. はじめに

戦略的維持管理の観点からコンクリート構造物のひび割れやはく落を伴う劣化が問題となり、補修・補強工事が行われている。また、橋梁構造物等の付属物、すなわち高欄等の交換も必要となり随時更新が行われているが、コンクリート構造物の劣化部分もしくは付属物交換のためには、はつり処理し、新たにコンクリートやモルタルを打継ぐ場合が多い。

はつり処理としては、新旧コンクリートの良好な一体化性状が得られるウォータージェット工法(以下、WJ工法)があるが、本論文では、はつり箇所以外に影響を与えないこと、特に既設コンクリート鉄筋の付着を落とさない様にはつり作業を行うため、従来用いていた油圧ブレーカーで行った場合の既設コンクリート部に損傷がどの程度出るか衝撃解析を行い基本的な問題が無いことを明らかにした。

## 2. はつり作業の種類

### 2.1 ブレーカーによる機械のはつり

ブレーカーを用いた機械的切削工法は、ピストンの前面に組み込んでいるチゼルロッドと呼ばれる打撃部によって、コンクリートをはつる方法である。チゼルロッドは、圧縮空気または油圧で駆動する打撃方法であり、チゼルロッドの段差部分には常時圧縮空気が入っているため、コンクリート面を打撃したチゼルロッドは直ちに後退し、再び打撃を受けて飛び出し、これを繰り返す仕組みである。すなわち、チゼルロッドがストロークして切削するため、切削面に対して強く押し付けコンクリート面を細かく破砕するものである。しかしながら、大きな荷重で打撃を行うと既設の他のコンクリートにも何らかの影響があるとされている。

### 2.2 WJ工法によるはつり

WJ工法は、洗浄作業の分野で大きな成果を上げてきた技術で、高压式のポンプで加圧した水を小口径のノズルから高速の水噴流として噴射させることによってコンクリート面を切削する工法へと発展したものである。この水噴流がコンクリート面に衝突したときに生じる圧力および水くさび作用により切削を行うもので、適切な圧力、流量によって脆弱部を集中的に切削できる。また、鉄筋を損傷することなく、コンクリートを除去でき、切削後の残存コンクリートの健全性を確保でき、打ち継ぎ後の新旧コンクリートの付着力が確保できるが高価であるほか施工性はやや劣り、また、施工のできない箇所も多いことが課題である。

本論文では、油圧ブレーカーで地覆をはつった場合何らかの影響はどの程度あるのかを解析シミュレーションを行ったものである。解析には世界衝撃解析汎用コードLS-DYNAを

用い主に鉄筋にかかる応力をもとにした付着力に着目した。図2-1に今回解析した橋梁断面とはつり部を示した。

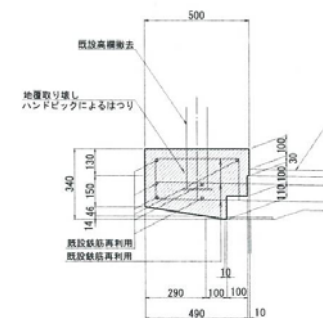
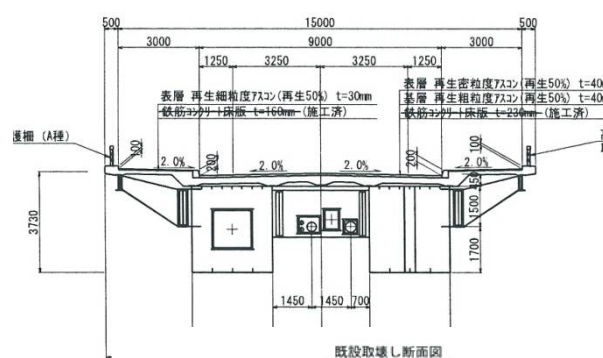


図 2-1

## 3. 3次元衝撃解析に基づく解析シミュレーション

### 3.1 解析モデル

衝撃問題とは簡単に言うと窓ガラスの真ん中をゆっくり押して行けば窓ガラスの縁にまでひび割れが入り破壊するが、窓ガラスの中央に向かって鉄砲の弾を撃ち込むとひび割れが入る前に弾は貫通するという生活上極一般的に起きている事象である(応力伝搬速度)。

ブレーカー作業も同じでブレーカーの先のチゼルロッドが速くコンクリートにぶつかれば、ぶつかった部分だけが壊れ他の部分には影響を及ぼさないと言うことである。しかしながら、チゼルロッドの速さは銃弾ほどでないので今回用いた地覆はつりで既設床版に影響がないかシミュレーションした。

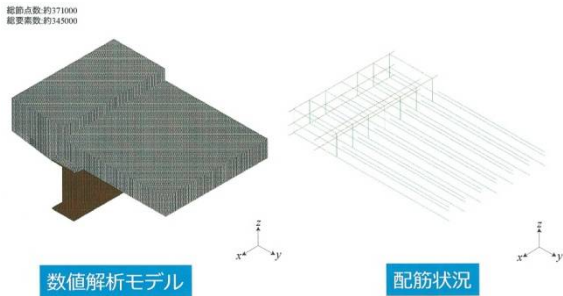
ここで、一般的に油圧ブレーカーの諸元に出ていない項目として打撃力がある。通常は油圧とrpmがのっているが荷重は記載されていない。あるメーカーで荷重をJ(ジュール)で表していたことから今回用いるミニバックホウ(0.1m3)に取り付ける150kgのブレーカーの荷重を求めることとした。

$$V^2 = J / \text{質量} \times 2000 \quad (\text{公式})$$

ブレーカーのJ=230Jで質量は150kgf/9.8となる。

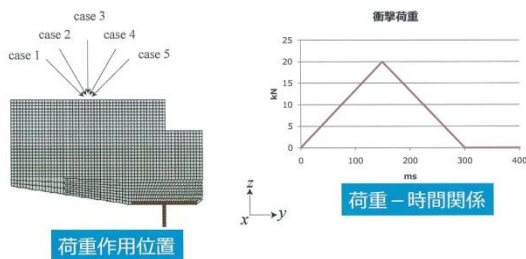
$P \times D = 1/2 \times m \times V^2$  で一般的にストロークD=1cm程度である。

従って、 $P=2,300\text{kgf}$  すなわち  $P=23\text{kN}$  となることから解析においては、1秒に3ストロークで最大打撃力を  $20\text{kN}$  とした。図 3-1-1 に解析モデル、図 3-1-2 に載荷位置および荷重時間の図を示した。



コンクリートのかぶり：50mm と設定

図 3-1-1



衝撃荷重：最大値を  $20\text{ kN}$ ，継続時間を  $300\text{ ms}$  と設定

図 3-1-2

また、図3-1-3には使用するブレーカーのベースマシンのイメージと稼働範囲を示したが、歩道に載って作業することから  $0.1\text{m}^3$  マシンが限界であるほかブームの作業範囲としても図3-1-2に示したcase 1～case3までが限界であるがcase 4および5も計算した。チゼルロッドは $\phi 50\text{mm}$ で先端は、平型、台形方、剣先型等があるが、ここでは地覆鉄筋を残して傷がなるべくつかないように剣先型を用いる事を想定した解析モデルとしている。また、解析要素数は衝撃を扱うことから約34500要素でほぼ  $1\text{cm}^3$  の立方体で鉄筋は、図3-1-1の配筋を解析モデルに組み込んである。

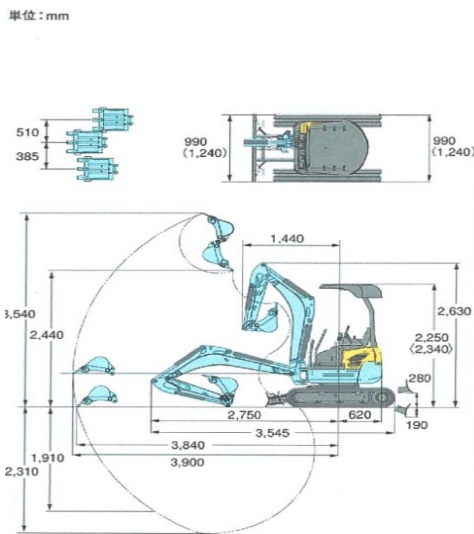


図 3-1-3

### 3. 2 解析結果

#### 3.2.1 地覆中央で油圧ブレーカーの刃先角度を変えた場合

図3-2-1-1および図3-2-1-2は基準となるcase3の応力コンターを示した。右に示したコンターレベルは応力の絶対値ではなく圧縮力、引っ張り力を色で示している。すなわち、赤の1.0というのは後に述べる最大応力を1.0とした場合のもので、具体的には約0.3秒で  $20\text{kN}$  の打撃をした場合、打撃をした点は一瞬、大きな圧縮力がかかるがそれとほぼ同じ時間に周辺は盛り上がるように引っ張り力が発生するということである。コンターレベルで見ると打撃点の直径  $10\text{cm}$  程度に大きな引っ張り力が働きコンクリートの引っ張り強度を超えると破壊したという破壊構成則を設定した弾塑性解析で行っている。図3-2-1-1から断面で見た場合のコンターで圧縮深さは  $3\text{cm}$  程度の範囲で影響を受けていることが見て取れる。

図 3-2-1-3 および図 3-2-1-4 は case1 の場合を示した。case3 の場合と比較し圧縮領域は狭く引っ張り領域が大きくなっているのが見て取れる。当然のことであるが、物が壊れる時は力が解放される面に向かって行くため、直角に当てるよりも、木工細工のノミの様に斜め  $45^\circ$  で金槌を叩いたのと同じ状況をつくっていると考えればよいと思われる。図 3-2-1-3 および図 3-2-1-4 両方で確認出来るが主応力が地覆と床版の境界で比較的大きな応力が生じること、桁フランジの上側まで引っ張り応力が連続して発生している。実際の施工では、地覆および地覆下の床版まで取り壊す観点から考えると  $45^\circ$  方向に油圧ブレーカーを当てた方が施工上は有利になり油圧ブレーカー後に行うハンドブレーカー作業の効率が上がると考えられる。

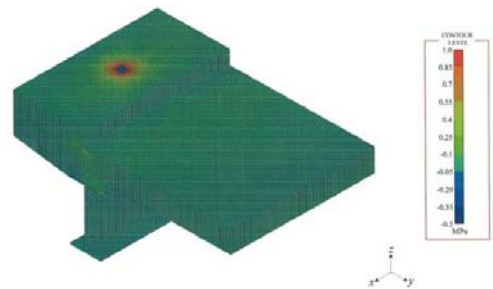


図 3-2-1-1

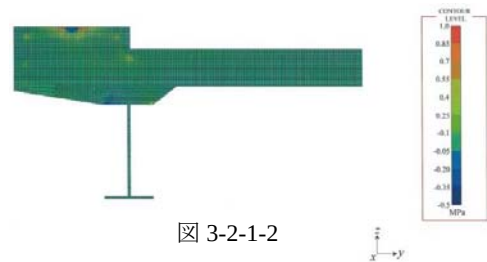


図 3-2-1-2

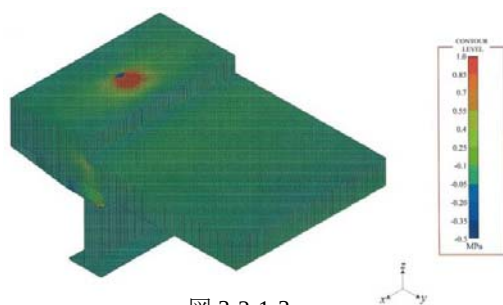


図 3-2-1-3



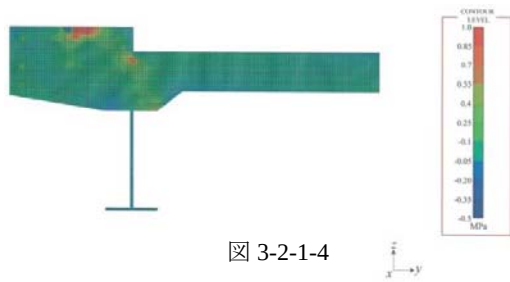


図 3-2-1-4

図 3-2-1-5 は case3 の力が伝わる状況を示した物で打撃から 0.1 秒後の応力図である。図 3-2-1-6 は鉄筋だけを取ったものに着目すると影響範囲は鉄筋 3 ピッチ分で 90 度に打撃を入れていることから地覆があたかも右回りに回転するかのように下の地覆と床版の境界の付近に引っ張り応力が働いている。地覆上鉄筋はゼロ応力状態で打撃を与えた箇所だけに若干の引っ張り力が働いている。図 3-2-1-7 および図 3-2-1-8 は case1 の場合である。45 度にグレーカーを当てた場合は前述した右回り回転の様に挙動することが顕著になることから鉄筋の応力図はほとんど変わらないが床版コンクリートでは地覆から 30~50cm 離れた箇所に若干の引っ張り応力が発生しているのが見て取れる。床版は実際の施工では歩道部に当たりミニバックホウが載ることから若干の引っ張り応力追加となるが 1MPa 以下と考えられることから大きな問題とはならないと考えられる。

表 3-2-1 は、5case 計算した各 case で発生した最大応力値を示したものである。鉄筋応力の最大は case5 で約引っ張り 3MP(30kgf/cm<sup>2</sup>)でコンクリート応力も圧 6MP(60kgf/cm<sup>2</sup>)、引っ張りは弾塑性解析であるので圧縮近傍で破壊しているので算出されない。図 3-2-1-5 および図 3-2-1-7 で注目すべきは、既設コンクリートはゼロ応力状態である。バックホウの重心がハンチ部にありグレーカーで打撃しているので衝撃解析では既設床版には伝搬しないほぼゼロ応力状態になる。ちなみに床版に引っ張りの色が出ているが 0.1MP(1kgf/cm<sup>2</sup>)程度である。

既設床版の鉄筋付着力は、開発局仕様書では 16kgf/cm<sup>2</sup> 以上と記載されている中で鉄筋とコンクリートの差分ひずみは 6 $\mu$  ストレイン程度(付着力換算方法はない)で完全合成構造状態にあり、どの case でも付着は保たれている。

なお、図 3-2-1-9 および図 3-2-1-10 には 20kN ではひずみが小さかったことから 50kN で図の矢印にグレーカーをかけた計算も行っている。50kN すなわち通称 5 トングレーカーで施工した場合は「はつる」といより「破壊する」状態に近くなり施工上のチゼルのあてる角度が上手く調整出来れば効率率は上がるがミニバックホウはできないこと、チゼルの制御が不適切になると床版にまで影響を及ぼすことが考えられる。

紙面の都合上、特に鉄筋の応力伝搬では鉄筋の右端を Fix させた状態で解析を行っていることから解析アニメーションでは数回、応力の反射により順方向すなわち鉄筋の左端から右端に応力と、右端から左端に向かう反射応力が重なり 2 倍の応力が発生する場合が見られるが、実際上は、境界条件としては右端 Free になることから反射波が無いため実応力も解析以下になると考えられる。

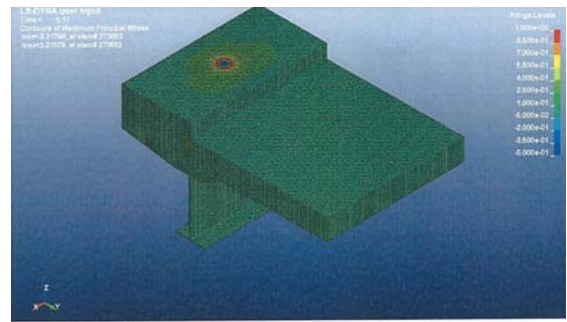


図 3-2-1-5

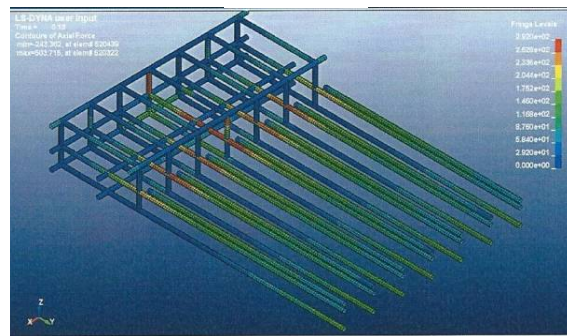


図 3-2-1-6

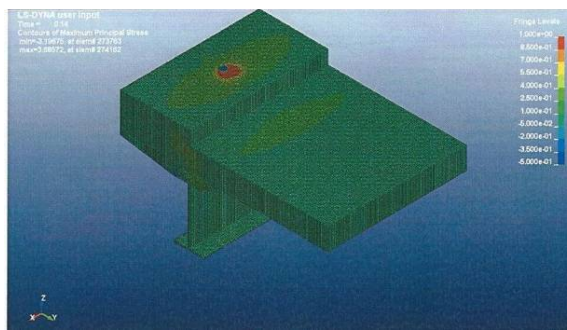


図 3-2-1-7

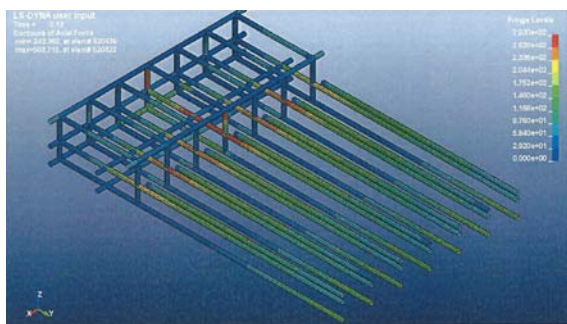


図 3-2-1-8

| case number | 最大荷重時の鉄筋の軸力(N) | 最大荷重時の鉄筋の応力(MPa) | 最大荷重時の鉄筋のひずみ( $\mu$ ) | 最大荷重時のコンクリートの最大主応力(MPa) |
|-------------|----------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| case 1      | 413.7          | 1.444            | 7.009                 | 6.255                   |
| case 2      | 506.9          | 1.769            | 8.588                 | 3.829                   |
| case 3      | 586.1          | 2.046            | 9.930                 | 2.539                   |
| case 4      | 727.2          | 2.538            | 12.32                 | 3.949                   |
| case 5      | 857.4          | 2.992            | 14.53                 | 6.416                   |

表 3-2-1

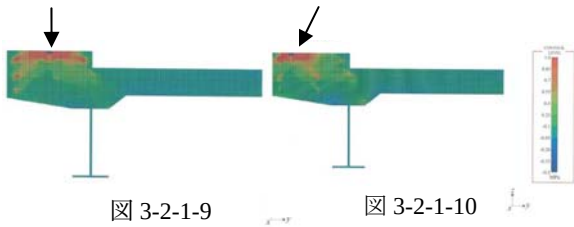


図 3-2-1-9

図 3-2-1-10

### 3.2.2 油圧ブレーカー刃先位置を変えた場合

3.2.1では載荷点を固定しチゼルロッドの角度を変えた解析を行ったがここでは図 3-2-2-1 の様に載荷ケースを case1～6 図 3-2-2-2～3-2-2-5 まで地覆の左端角から右端は地覆と床版の境界まで変えた場合の解析を行った。荷重は応力コンターが分かりやすいように 50kN とした。なお、荷重と時間関係は変えていない。

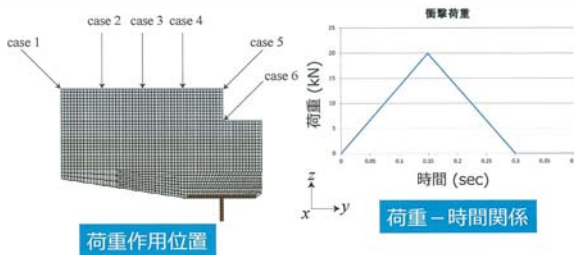


図 3-2-2-1

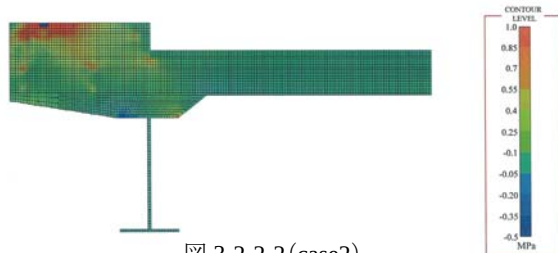


図 3-2-2-2 (case2)

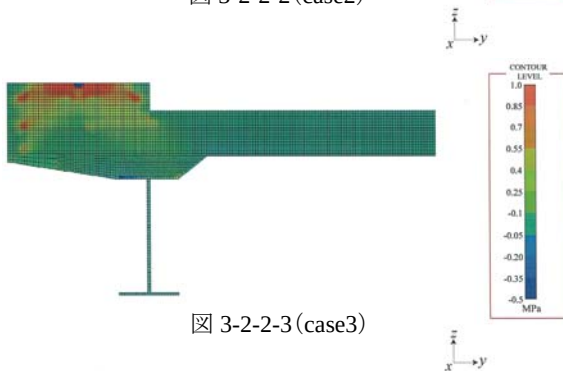


図 3-2-2-3 (case3)

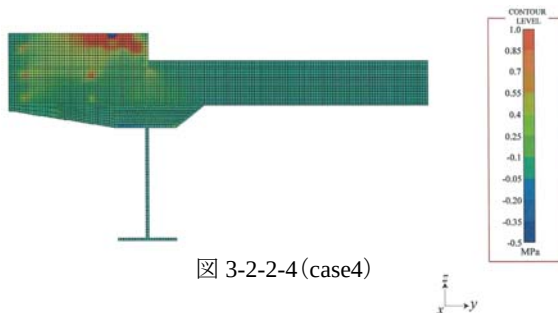


図 3-2-2-4 (case4)

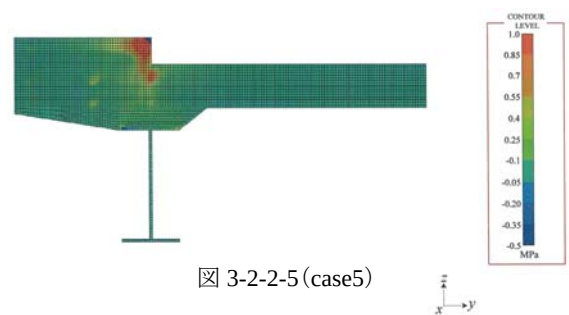


図 3-2-2-5 (case5)

紙面の都合上 case1、6 は示していないが鉄筋が入っている影響、すなわち応力の流れが鉄筋で阻害されることから鉄筋の結節点付近でいずれのケースも点的に引っ張り応力が発生していることがわかる。case5 では切り欠き部があることから地覆、床版接合点に大きな引っ張り応力が生じているが、実際の施工では相当低下すると考えられる。

解析の結論としては 90 度で油圧ブレーカーを入れた場合は地覆の形状にもよるが深部 10cm 程度まで引っ張り応力が働き破壊状態になるという結果になっているが実挙動では境界条件が異なり様々な拘束効果が働くことから解析結果までは破壊に至らないと考えられる。制御破壊効率としては自由解放面に応力が逃げる図 3-2-1-2 の次に図 3-2-1-4 の応力状態になる施工が望ましいと考えられるが実際には各ケースのバリエーションとなることから解析のイメージを入れて施工する必要がある。

## 4. まとめ

昨今、社会資本としての橋梁構造物の損傷、または戦略的維持管理が話題となっている中で、通常コンクリートを破壊して取り壊す油圧ブレーカーでの破壊制御、すなわち既設コンクリート等に影響を与えないで取り壊し(はつり作業)が可能な衝撃解析で検証してみた。結果として、

- ① 鉄筋コンクリート構造物の場合、弾性係数および応力伝搬速度が2桁違う構造物では打撃という集中応力下において制御は可能であることがわかった。
- ② ブレーカーの打撃速度下に置いてはストロークが小さいことから影響範囲が小面積で既設コンクリートにはほとんど影響がないことが分かった。
- ③ 付着力の観点からもひずみのレベルが数  $\mu$  ストレインであることから健全度を守ることができる。
- ④ 打撃角度の調整により応力解放面に向かって引っ張り応力が働くようにすれば「はつり」の効率がよい。

等であるが解析では壊れた要素を取り除いて荷重を移動させる解析でないことから実施工と異なることが考えられるが、厳密な解析よりも傾向を押さえた方が実務的と考えられる。

## 5. 謝辞

この実験に関し、滝川道路事務所の山崎達哉所長、片岡敏行計画課長、坂本多朗工務課長に、解析に際しては室蘭工業大学構造力学研究室の皆様にも多大な協力をいただいた。ご協力に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 平成25年度 北海道開発局4 河川・道路標準仕様書
- 2) 建設機械油圧ブレーカーの低騒音の評価方法に関する研究 江川 義之 他