

平成25年度

コンクリートのはつりに関する衝撃解析と 合理的手法の一提案

一般国道451号滝新橋の地覆はつりの実験的研究一

札幌開発建設部 滝川道路事務所 工務課 ○坂本 多朗
国松 博一
山崎 達哉

構造物等の補修に関してはコンクリートはつり作業が伴うことが多い。従来はウォータージェット工法、ハンドブレイカで行うのが主であったが工費及び施工性の観点で課題が生じていた。今回、これらの手法に加えて効率的な油圧ミニブレイカを適用する際、打撃が周辺コンクリート、鉄筋及び既存コンクリートと鉄筋の付着に着目し油圧を用いた場合の衝撃を汎用コード LS-DYNAで解析した後に現場で試験を行い、問題が無いことを明らかにした。

キーワード：施工技術 制御破壊 衝撃解析 衝撃測定 地覆

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。

事前のはつり処理として各種工法があり、地覆コンクリートのはつり工方法区分は応力照査結果により選定し、施工による部位への影響が小さく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）、もしくはハンドブレイカによるはつり処理が主工法となっている。しかし、ハンドブレイカは人力作業上振動暴露影響により作業時間に限界があり、大量のコンクリートをはつるには作業効率が悪く、効率的な切削方法が望まれている。そこで、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イカーではつりを行った場合、既設コンクリート部に損傷がどの程度出るかを衝撃解析と試験施工時の実ひずみを計り、基本的には問題が無いことを確認した。

2. はつり作業の種類

1) ブレイカーによる機械はつり

ブレイカーを用いた機械的切削工法は、ピストンの前

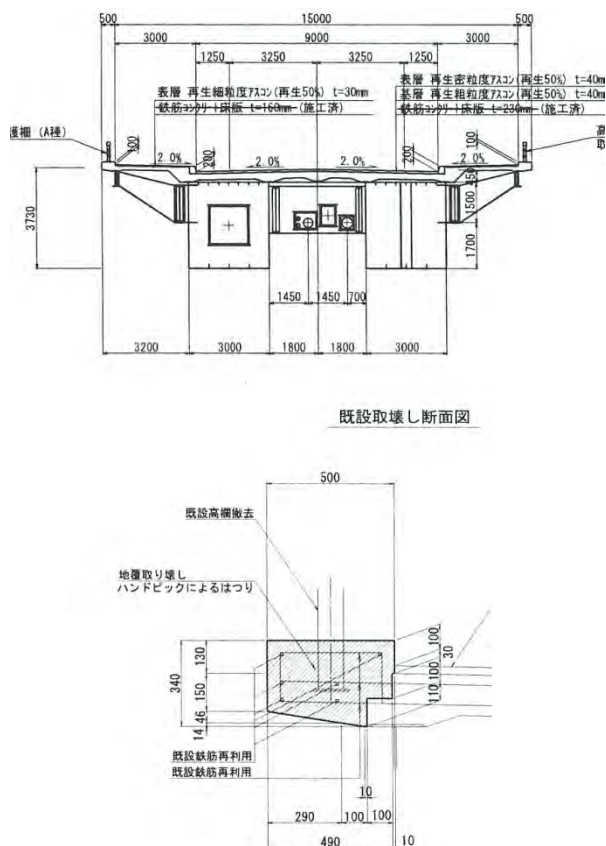
面に組み込んでいるチゼルロッドと呼ばれる打撃部によって、コンクリートをはつる方法である。チゼルロッドは、圧縮空気または油圧で駆動する打撃方法であり、チゼルロッドの段差部分には常時圧縮空気が入っているため、コンクリート面を打撃したチゼルロッドは直ちに後退し、再び打撃を受けて飛び出す機構で、これを繰り返す仕組みである。すなわち、チゼルロッドがストロークしてコンクリート面を強く押し付けコンクリートを細かく破砕するものである。しかしながら、大きな荷重で打撃を行うと既設の他のコンクリートにも何らかの影響があるとされている。

2) 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、高圧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及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、油圧ブレイカーで地覆をはつった場合、既設コンクリートにどの程度の影響があるのかを解析シミュレーションと現地計測を行ったものである。試験を行った橋は一般国道451号滝新橋で断面概要を図-1に

示した。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。実験は、ブラケットがある部分と中間の部分で行っている。



図一1 滝新橋の一般図及びはつり断面

3. 3次元衝撃解析に基づく解析シミュレーション

1) 解析モデル

衝撃解析とは一般的に自動車が何かにぶつかったときに何処がどの様の壊れていくかを解析するもので解析終了後に実験が行われる。

衝撃問題とは簡単に言うに窓ガラスの真ん中をゆっくり押し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。端的には、ぶつかるものが速いとぶつかるその部分だけが破壊し他には影響がないと言うことである。

ブレーカー作業も同じでブレーカーの先のチゼルロット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、チゼルロットの速さは銃弾ほどでないの今回、用いた地覆はつりで既設床版に影響がないかを

事前にシミュレーションしたものである。

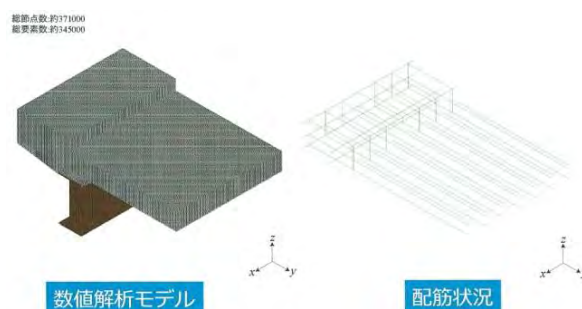
ここで、留意すべきはブレーカーの諸元に出ていない項目として打撃力がある。通常は油圧とrpmがのっているが荷重は記載されていない。あるメーカーで荷重をJ（ジュール）で表していたことから今回用いるミニバックホウ（0.1m³）に取り付ける150kgのブレーカーの荷重を求めることとした。

$$V^2 = J / \text{質量} \times 2000 \quad (1)$$

ブレーカーのJ=230Jで質量は150kgf/9.8となる。

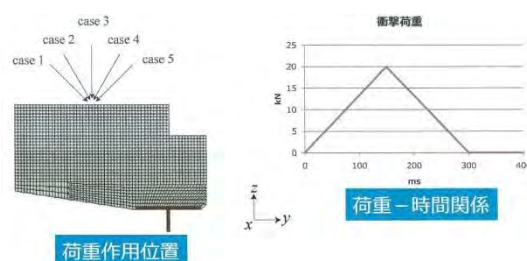
$P \times D = 1/2 \times m \times V^2$ で一般的にストロークD=1cm程度である。

従って、P=2、300kgf すなわち P=23kN 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20kNとした。図-2に解析モデル、図-3に載荷位置及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-2 解析モデル図



衝撃荷重：最大値を 20 kN，継続時間を 300 ms と設定

図-3 載荷位置と載荷時間

また、図-4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0.1m³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に示したCase1～case3までが限界であるがCase4及び5も計算した。

チゼルロットはφ50mm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になるべくつかないよう剣先型を用いる事を想定しの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1cm³の立方体で鉄筋は、図-2の配筋を解析モデルに組み込んである。

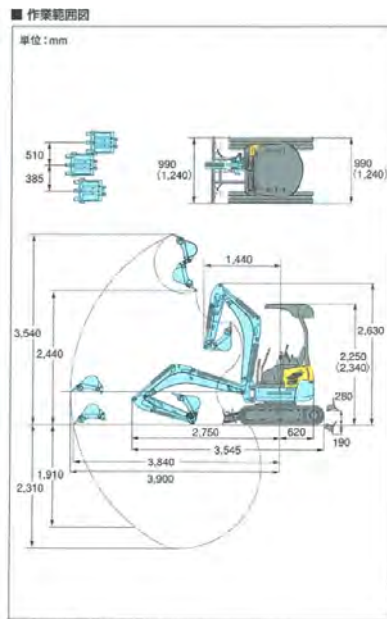


図-4 ベースマシン稼働範囲図

図-5及び図-6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20kNで打撃をした場合、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10cm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計算方法になっている。今回の解析は、荷重に応力が比例するという弾性解析ではなく破壊条件を設定した弾塑性解析で最速のCPUを使った計算機でも1Case1日程度の時間を要している。図-6は断面で見た場合のコンターで圧縮深さは3cm程度の範囲で影響を受けていることが見て取れる。

図-7及び図-8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度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。

図-9及び図-10はCase1の力が伝わる状況を示した物で打撃から0.1秒の後の応力図である。図-10の鉄筋だけを取ったものに着目すると影響範囲は鉄筋3ピッチ分で手前45度で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な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のみに若干の引っ張り力が働いている。

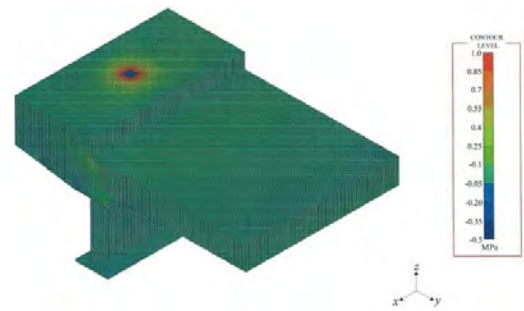


図-5 Case3 基準応力コンター（平面）

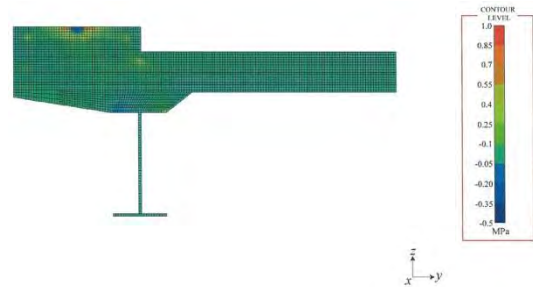


図-6 Case3 基準応力コンター（断面）

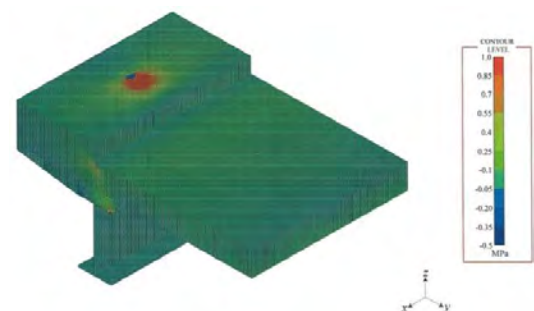


図-7 Case1 応力コンター（平面）

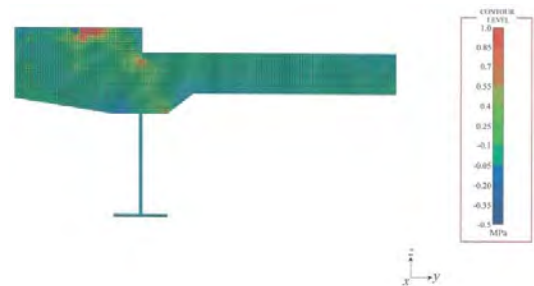


図-8 Case1 応力コンター（断面）

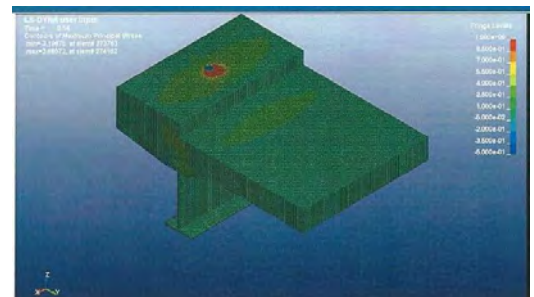


図-9 Case1 応力の伝搬図（0.1sec 後）

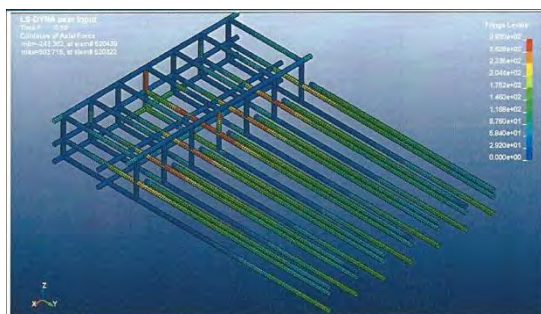


図-10 Case1 鉄筋の応力の伝搬図 (0.1sec 後)

表-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/cm²) でコンクリート応力も圧縮 6MP (60kgf/cm²)、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。留意すべきは、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ブ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故ゼロ応力状態になる。図-9 で床版に引っ張りの色が出ているが 0.1MP (1kgf/cm²) 程度である。

既設床版の鉄筋付着力は、開発局仕様書で 16kgf/cm² 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 μ 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、どの様な Case でも付着は保たれている。

表-1 各 Case の最大応力およびひずみ

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 (μ)	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

なお、図-11 及び図-12 には 20kN ではひずみが小さかったことから 50kN で図の矢印にブレーカーをかけた計算も行っている。

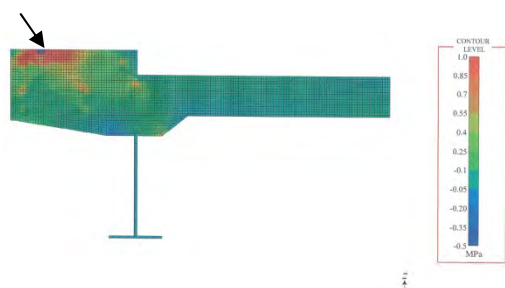


図-11 ブレーカー50kN の場合の応力コンター

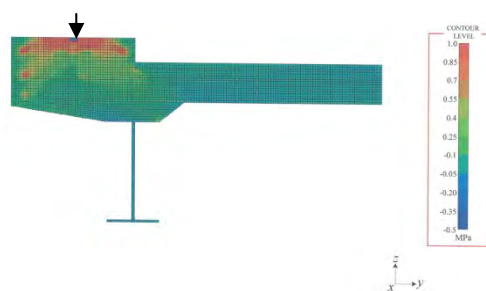


図-12 ブレーカー50kN の場合の応力コンター

4. 現場実験

1) 計測方法

現場での計測は、データ分析が適切に出来るように図-13 に載荷点とひずみゲージ位置を図-14 に断面で見たひずみゲージ位置を示した。サンプリングの個数は 100 データ/sec、ノイズは 20Hz で処理している。

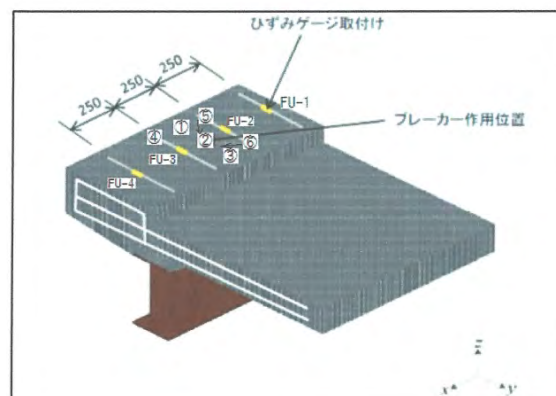


図-13 ブレーカー作用位置とゲージ位置

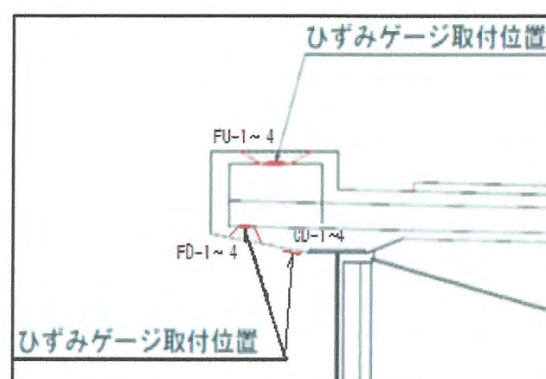


図-14 ひずみゲージ位置詳細図

図-15 は 20kN で載荷点 2 に 3 秒程度ブレーカーを掛けた場合の 1 回目、図-16 は同じく 2 回目、図-17 はその後にハンドブレーカーをかけた時の FU 上鉄筋ひずみ、FD 下鉄筋ひずみ、及び CD はコンクリートゲージのひずみである。FU、FD、CD の番号は手前側が 4 で奥が 1 であ

る。

図-15において7秒付近でひずみ計が触れているのはブレーカーの刃先をコンクリート面に置いた時で13秒程度から1秒間に3～4打撃を加えている。偏芯荷重がかかったため、もしくはコンクリート面は均一でなかったことからブレーカーの刃先を挟んだ鉄筋で引っ張りひずみ10～20 μ ストレイ程度の差が開いて発生している。FU1、FU2では殆どひずみは発生していない。また、下鉄筋ひずみも衝撃的荷重が到達せずほぼゼロひずみとなっているが下コンクリートではCD3のみにひずみが発生している。CD2のひずみは刃先をコンクリート面に数回置いたときのものと考えられ引っ張りひずみが生じている。これは動的ひずみを計る際に中立点のバランスを取る必要があるがバランスタイミングがずれたものと思われる。

図-16は1回目の打撃でコンクリート面に損傷が生じた後の2回目で9秒程度の打撃を行ったものである。上鉄筋ひずみにおいてはFU2のみの50 μ ストレイ程度でている。これは、損傷部がFU2側に偏り鉄筋の近くまで打撃荷重が及んだと考えられるが応力で10MPa(100kgf/cm²)であることから地覆鉄筋にも大きな応力がかかっていないことがわかる。また、コンクリートゲージにも殆どひずみが発生していないので既設コンクリートには影響を及ぼしていないことが見て取れる。

図-17は、ブレーカーで2回打撃を行った後にハンドブレーカーで打撃を与えたものである。上面コンクリートが大きく破損した状態で計測したひずみの値は10 μ ストレイ以下で局所的にコンクリートを壊す面からは衝撃荷重として最適であるが、逆に局所的であるが故に効率は劣っていることが見て取れる。解析では、様々な荷重ケースを数値計算したがほとんどひずみが生じないことから傾向としては実験とほぼ同じく衝撃問題として扱うことができることも既設コンクリートには影響を及ぼさないことが実証できたと推察される。

また、図-18は、実際に20kNブレーカーで取り壊し(はつり)を行ったときのひずみデータである。鉄筋ひずみで大きな値が出ているが1/100secでのひずみであることから、ゲージ等に一時触れても生じるデータであることから無視しても差し支えない。この様なノイズ的データを除けば鉄筋では最大±100 μ ストレイ、コンクリートでは50 μ ストレイ(圧縮)程度で衝撃力によるはつりで既存のコンクリートの健全性阻害することや特に複合構造の鉄筋コンクリートとして保持する上では問題ないことがわかる。

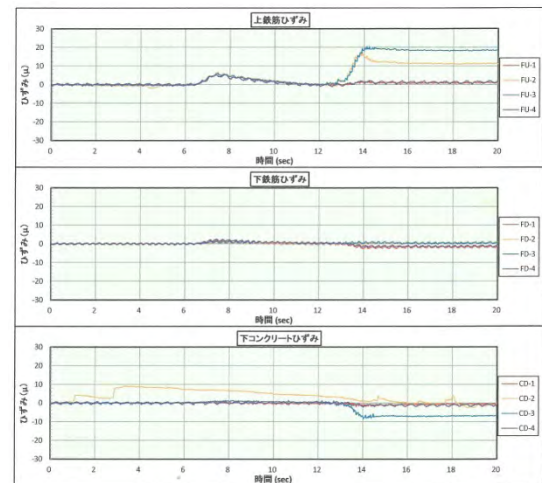


図-15 載荷点2 20kN時のひずみ図(1回目)

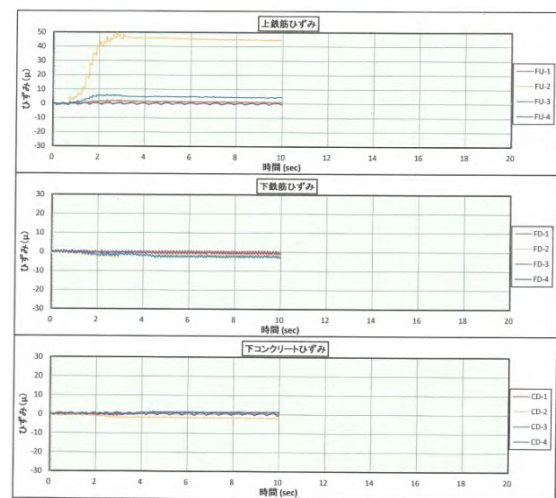


図-16 載荷点2 20kN時のひずみ図(2回目)

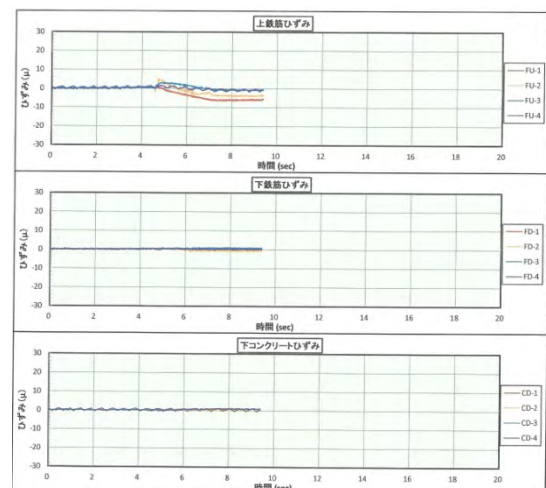


図-17 ハンドブレーカーを用いた時のひずみ図

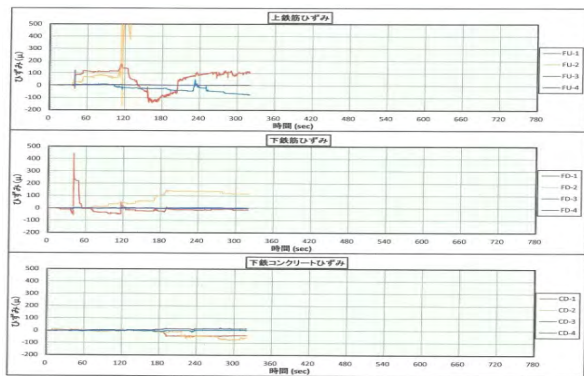


図-18 取り壊し作業時のひずみ図

5 おわりに

近年、老朽化した構造物を補修するにあたり既存コンクリートに影響を与えないようコンクリートを壊す（はつり）作業においては、WJ 工法等様々なものが用いられてきた。この様な中で機械ブレーカーを用いた作業は解体作業以外は既存コンクリートに影響を与えるのではないかと懸念をもっていたが、今回、ブレーカーの作業に関し衝撃問題として扱い、3次元衝撃解析と現場実験を行った。その結果、

- 1) ブレーカーを用いるに当たり解析方法として衝撃解析プログラム (LS-DYNA) を用いて解析したが、解析結果として妥当なものであることが分かった。
- 2) 現場の実験において様々な角度から 20kN ブレーカ

ーを用い、はつり部分と既設コンクリートの健全性の評価を試みたところ解析が妥当なことがわかった。

- 3) 既設コンクリートが複合構造で機能するためには付着力が重要となるが解析、及び実験で問題ないことがわかった。
- 4) 今回の、解析及び実験で油圧ブレーカーを用いることができることが分かったことから現場で用いたところハンドブレーカーを用いるより効率が2倍以上向上した。
- 5) 細部のはつり作業はハンドブレーカーによる方が効率は上がることから中割りまで油圧、以降は手作業に頼るのが効率的である。

様々な分野で機械を活用していくことを望まれる。しかしながら、油圧ブレーカーのチゼルロッドの刃先の改良によりさらに効率が上がると考えられことからこの分野の研究が必要と考えられる。

5 謝辞

今回の調査を行うに当たり解析を指導及び解析を実際に行って頂いた室蘭工業大学建設システム工学科小室准教授、建設システム工学科大学院の方皆様に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) H25年度 北海道開発局 道路設計施工要領