

# コンクリートのはつりに関する衝撃解析に基づく計測と評価

Measurement and Evaluation for Chipping Concrete Based on Impact Analysis

（株）砂子組	正員	近藤里史（Satoshi Kondo）
（株）砂子組	正員	平島博樹（Hiroki Hirashima）
（株）砂子組	非会員	川村正之（Mayuki Kawamura）
（株）砂子組	正員	佐藤昌志（Masashi Sato）
（株）砂子組	非会員	砂子邦弘（Kunihiro Sunago）

## 1. はじめに

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。これまではウォータージェット工法、ハンドブレイカーで行うのが主であったが工費およ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ーを適用する際、打撃が周辺コンクリート、鉄筋およ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プログラム 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証明した。

## 2. はつり作業の種類

### 2.1 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し、これを繰り返す仕組みである。

### 2.2 WJ 工法によるはつり

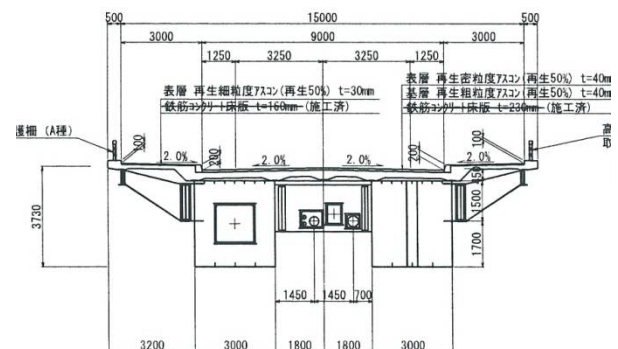
WJ工法は、洗浄作業の分野で大きな成果を上げてきた技術で、高圧式のポンプで加圧した水を小口径のノズルから高速の水噴流として噴射させることによってコンクリート面を切削する工法へと発展したものである。この水噴流がコンクリート面に衝突したときに生じる圧力および水くさび作用により切削を行うもので、適切な圧力、流量によって脆弱部を集中的に切削できる。

### 2.3 空圧バンドブレイカーによるはつり

基本的には油圧ブレイカーと機構は同じであるが打撃数をあげるため空気圧を用いている。種類としては 20kgf 級～40kgf 級がありこまい部分をはつるには適しているが大量のコンクリートをはつるもしくは壊すのには適していない。また、人力作業上振動病規制があり1日2時間と決められていることから1日の施工量には限界がある。

以上のことから本論文では、油圧ブレイ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結果に基づき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2-1に示した。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。実験計測の目的は、解析シミュレーションの検証と効率性であり様々な計測方法があるが今回においては、コンクリートを小さくはつり鉄筋ゲージを付けたほか、圧縮部にはコ

ンクリートゲージを貼り、サンプリング周波数は現地で試験を行いながら決定している。



既設取壊し断面図

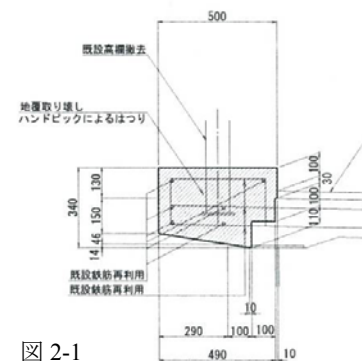


図 2-1

## 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

ブレイカー作業においてはブレイ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推察できる。しかしながら、チゼルロッドの速さには限界があるものの比較的大きな荷重が作用するため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、以外とブレイ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(0.1m<sup>3</sup>)に取り付ける150kgのブレイカーの荷重を求めることとした。

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

ブレイカーの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  $20\text{kN}$  であるが傾向を把握するため  $50\text{kN}$  とした。図 3-1-1 に解析モデル、図 3-1-2 に荷重位置および荷重時間の図を示した。

ブレーカーのベースマシンは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限られている。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。

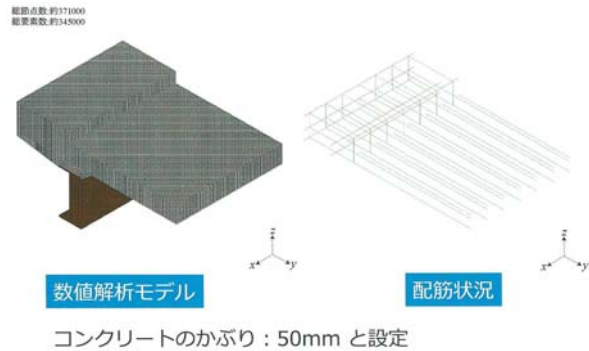


図 3-1-1

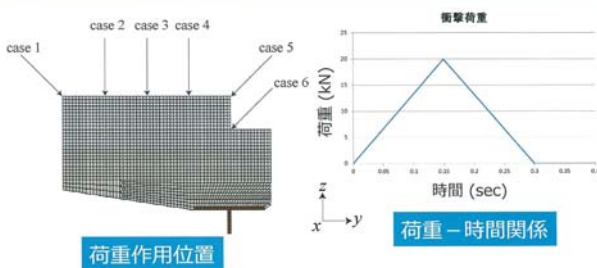


図 3-1-2

### 3.2 解析結果

図 3-2-1~4 に各ケースの応力コンターおよび図 3-2-5 には鉄筋の応力状態を示した。図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計算方法になっている。紙面の都合上 case6 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  $90$  度でブレーカーを入れた場合は地覆の形状にもよるが深部  $10\text{cm}$  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 の次に図 3-2-4 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。

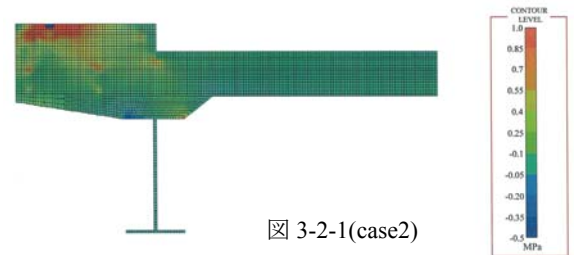


図 3-2-1(case2)

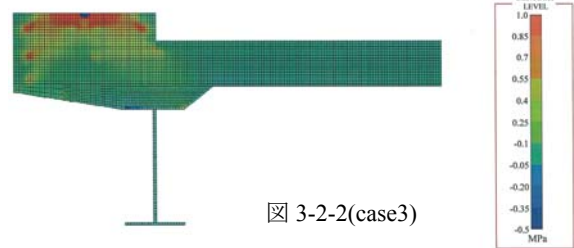


図 3-2-2(case3)

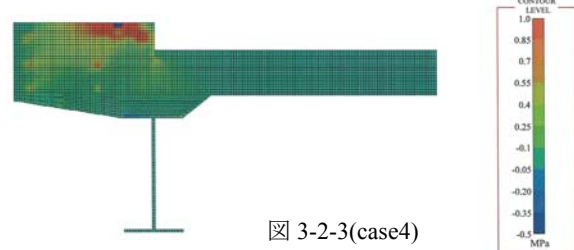


図 3-2-3(case4)

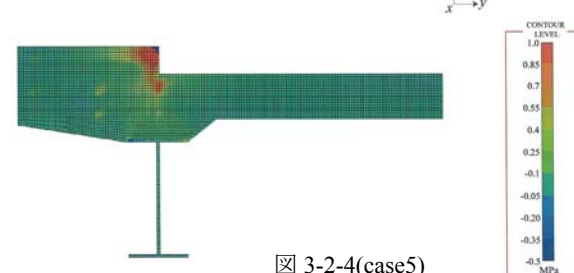


図 3-2-4(case5)

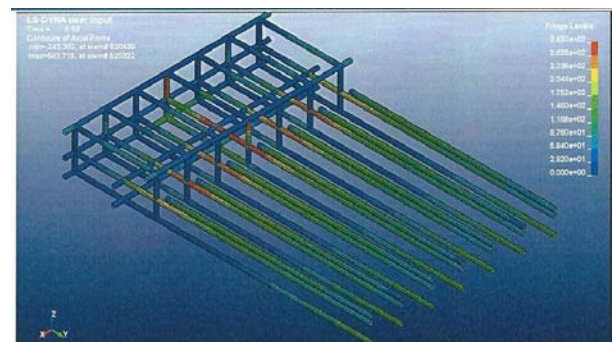


図 3-2-5

## 4. 現場実験

### 4.1 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 4-1-1 に載荷点とひずみゲージ位置を図 4-1-2 に断面で見たひずみゲージ位置を示した。実験の状況は写真 4-1 サンプルの個数は 100 データ/sec、ノイズは 20Hz で処理している。

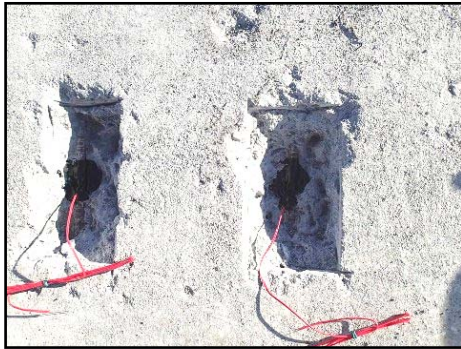


写真 4-1

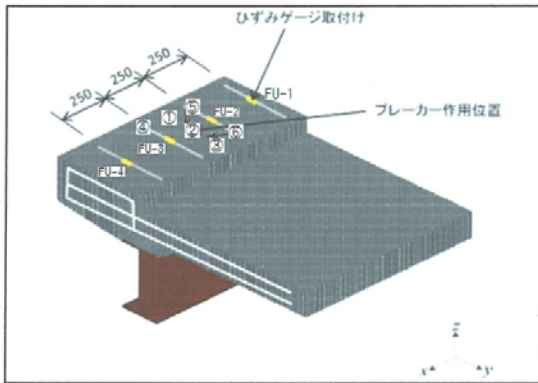


図 4-1-1

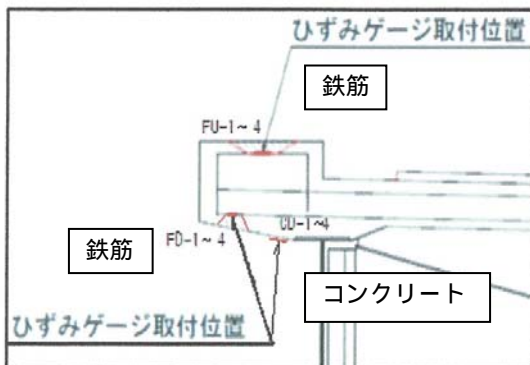


図 4-1-1

### 4.2 計測結果

データが多いことから図 4-1-1 のブラケット間でかつ載荷点 2 に関して結果を述べる。

図 4-2-1 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 4-2-2 は同じく 2 回目、図 4-2-3 はその後ハンドブレイカーをかけた時の FU 上鉄筋ひずみ、FD 下鉄筋ひずみ、および 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 4-2-1 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 $\mu$  ストレイン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と考えられるが引っ張りひずみが生じているが、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 4-2-2 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 回目の 9 秒程度の打撃で上鉄筋ひずみにおいては FU2 のみが 50 $\mu$  ストレイン程度でている。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 10MP(100kgf/cm<sup>2</sup>)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 4-2-3 は、ブレーカーで 2 回打撃を行った後にハンドブレイ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況で計測したひずみの値は 10 $\mu$  ストレイン以下で局部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、逆に局部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しか把握できないが実験とはほぼ同じく衝撃問題として扱うことができるとともに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。

図 4-2-4 は図 4-1-1 における載荷点④を打撃した場合のひずみ図である。地覆の川側端部でひずみとしては FU-3 に引張り、コンクリートひずみでは CU-4 に圧縮ひずみが出やすい箇所である。図の上が鉄筋ひずみであるが打撃 4 回目になることから地覆が損傷し打撃時のひずみの立ちあがり遅くなっているのがわかる。打撃点直下の鉄筋のひずみはゼロひずみ状態で、FU, CU-4 にひずみが出ているが 5 $\mu$  ストレイン程度である。

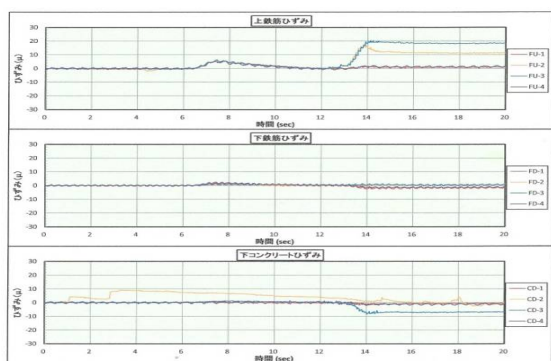


図 4-2-1

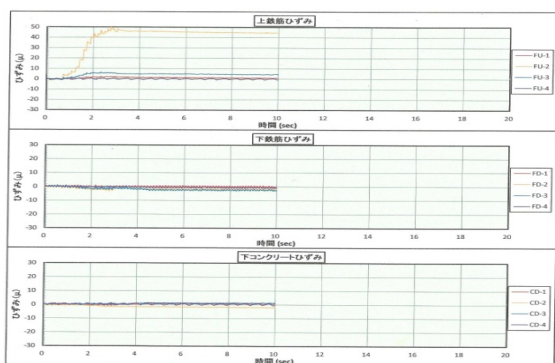


図 4-2-2

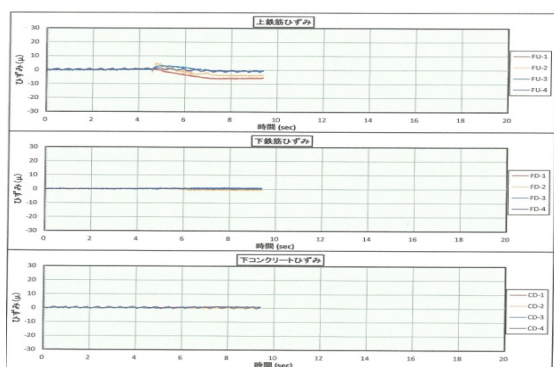


図 4-2-3

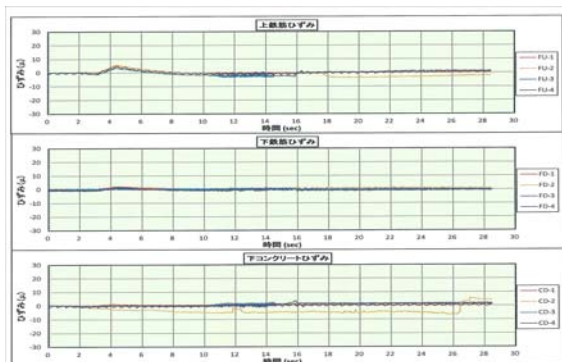


図 4-2-4

図 4-2-5 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 のひずみであることから、ゲージ等に一瞬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±100μ

ストレイン、コンクリートでは 50μ ストレイン(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。

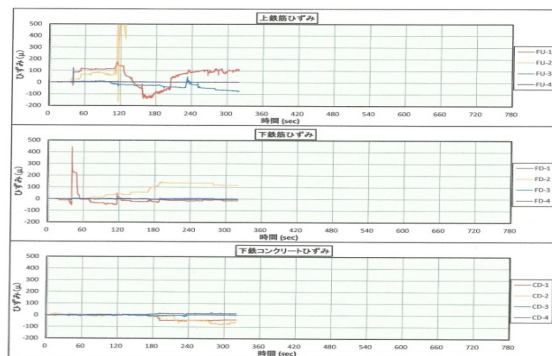


図 4-2-5

## 5. まとめ

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。

### 5.1 結果

- (1) 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。
- (2) 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、および実験で問題ないことがわかった。
- (3) 打撃でひずみが発生する幅(有効幅)は打撃点の直径 10cm 程度でそれ以降はゼロひずみ状態で応力伝搬は認められなかった。
- (4) ランダムに載荷点を変えて、地覆を壊した場合も鉄筋が降伏するような状態には至らなかったことから、既設コンクリートへの付着強度低下も含めブレーカーによる取り壊しは有効であることがわかった。

## 6. あとがき

今回の調査を行うに当たり油圧ブレーカーの効率性が実証されたが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。

## 7. 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