

若年技術者のための基礎知識 [最終回]

経験値を活かした施工編

坂田建設株式会社 土木本部 土木統括部長
鈴木 正司

公共事業による地図に残る仕事ができる喜びは、技術者にとって魅力であります。携わった仕事は、一生忘れることができない思い出となります。形となった姿は、技術者としての誇りとやりがいの象徴として永遠に存在していきます。多分、社会に出て40年を超えるような技術者人生を全うしたとしても、自分自身で手掛けた仕事を取り壊され、新たに建設されることは無いだろうと想像できます。そう考えると、耐久性があり長もちするように「真心を込めて立派な仕事する」という気持ちになれると思います。

一方、技術は年々進歩して新しい工法が開発され、その進歩に伴って施工技術も日々変化していきます。技術者は新しい工法の技術を身につけていくことが要求されますが、新しい技術は時の流れと共に定着していき、誰もが備えなければならない基本技術へと変化していきます。技術を変化させる原動力は、常にアイデアを出し、「創意工夫をして技術の向上に励む」という考え方が必要になると思います。

さらに、品質を高めるための施工技術は、先達の経験値をノウハウとして伝承できるように記録され、共有される必要があります。ノウハウやスキルの伝承が確実に実践できれば、若年技術者の技術力を向上させることができると考えています。

今号は、若い技術者が、先達の施工技術の経験値を基にして参考になるノウハウ編として活用していただければと思います。

1 下部拘束のある構造物を考えよう

擁壁・ボックスカルバート・橋台・橋脚など、

一般的なコンクリート構造物は、基礎部分（フーチングなど）と立ち上り部分（壁部・柱部）に分かれています。基礎部分が先行施工されるために、立ち上り部分から見ると下部が拘束された状態となります。

擁壁を例にとると、フーチング部と壁部に分かれ、構築の施工順序はフーチング部を先行施工してから壁部を構築する順序となります。一般に、コンクリートは、水和反応によってコンクリート温度が上昇します。上昇した温度は、ピークを迎えると徐々に温度が下がります。1ヶ月以上も経過すると周辺の外気温と同じになります。壁部のコンクリートの打設は、フーチングコンクリート打設から、約1ヶ月後くらいになる工程となります。フーチングコンクリートの温度は、この時点ではほぼ外気温と同じになっています。壁部のコンクリートを打設すると、壁部の内部温度は打設直後から上昇して水和反応がピークを迎えると温度が下降してきます。温度が上昇している間は、コンクリート自体は熱によって膨張していますが、温度が下がりだすと収縮していきます。しかし、フーチングのコンクリート温度は、ほぼ外気温と同じなので、壁部の境においては温度の上昇はあるものの全体では変化はありません。したがって、フーチングは壁部のコンクリートの温度上昇によってほとんど膨張や収縮をすることはありません。フーチングが拘束体となって壁部のコンクリートの下方部分は温度が下降しても収縮ができないこととなります。壁部の下方部分は、フーチングから立ち上る鉄筋の拘束もあり、縮むことができないので、引張応力が発生することになり

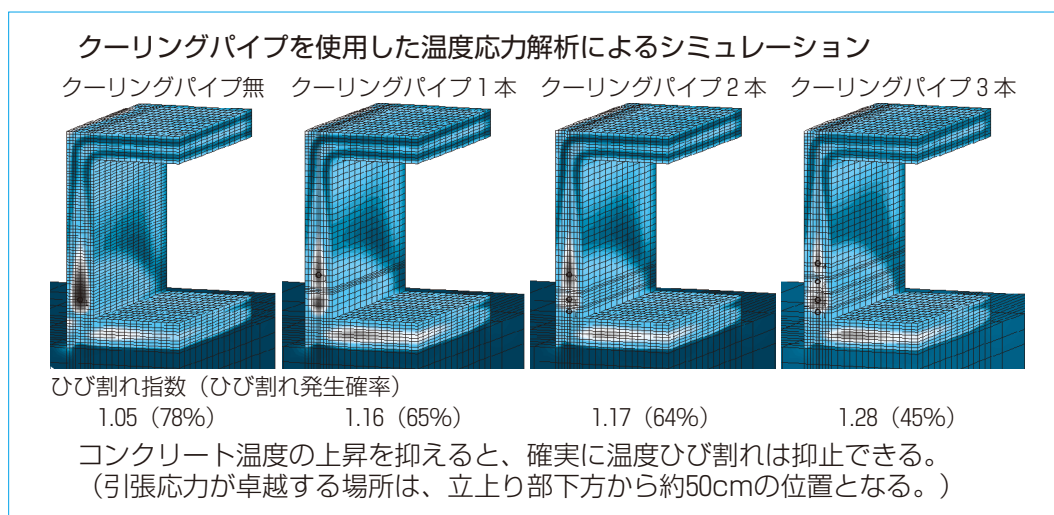


図1 発生する引張応力を少なくする対策

ます。そこで、発生した引張応力が、硬化中であるコンクリートの引張強度より大きい場合には、ひび割れが入ることになります。擁壁は、この初期の時点で壁部の下方にひび割れが発生することになります。壁部のコンクリート温度が高くなればなるほど膨張が大きくなります。コンクリート温度が下がれば収縮していきますので、コンクリート温度の上昇が大きいほどひび割れが入る確率が高くなります。

ここで、壁部に発生する引張応力が最大となる箇所を温度応力解析で探ると、フーチングの打継ぎ面から、約50cm上方で最大となります。このことは、下部拘束のある構造物のほとんどが立ち上り部の下方から約50cmの箇所で引張応力が卓越します。

擁壁は背面の水圧を考えない設計となることが多いので、擁壁の背面に水圧がかからないように、水抜きパイプを一定間隔で配置します。つまり、悪いことにフーチングの打継ぎ面から、約50cm上方で引張応力が最大となる箇所の辺りにその水抜きパイプを設置するのですから、断面欠損による応力集中により高い確率でひび割れが入ることになります。水抜きパイプは等間隔（2m～3m程度）に配置しますので、水抜きパイプを設置した箇所にひび割れが入りやすくなるのです。

では、ひび割れの無い構造物を構築するには、以下のことを解決する必要があります。

① コンクリートの内部温度の上昇を抑える対策

② 水抜き箇所を補強する対策

③ 発生する引張応力を少なくする対策
順に対策工を検討してみましょう。

「コンクリートの内部温度の上昇を抑える対策」は、温度上昇の少ないセメントを使用すればよいのです。セメントの種類の変更は、スペックに縛られて、発注者の理解を得られなければ、変更できない場合もありますので発注者との協議が必要となります。

「水抜き箇所を補強する対策」は、簡単に考えてください。水抜きの上下を補強すればよいこととなります。ガラス繊維シートなどによって、水抜きの上下を補強する工法が簡単です。ひび割れ防止用の鉄筋を配置するためには、被り部分に設置するので、被り厚さが少なくなるので注意が必要です。

「発生する引張応力を少なくする対策」には、温度応力解析によるシミュレーションを行ってみました（図1）。それは、引張応力が卓越する箇所の温度を下げることを目的として、クーリングパイプを利用して比較検討を行ってみたところ、引張応力が卓越する箇所の温度上昇を少なくするとひび割れ抑制に効果があることが分かります。フーチングの上面から50cmの箇所にコンクリート打設後に温度が上昇しないような対策を行えばよいこととなります。温度応力解析上では、クーリングパイプを設置して、2m/秒で外気の空気を吹き込んで熱をとることによって、引張応力の

締固め効果の確認実験状況

バイブレーターによる締固め状況



バイブレーターによる締固め終了



突き棒による締固め状態の確認中央部



骨材の無いモルタル部分容易に突き棒が貫入する

突き棒による締固め状態の確認周辺部



周辺部分は締固め効果が有る同じ力では貫入困難

バイブレーターを引き抜いた部分の直径10~15cmは、モルタル分が集まり骨材の無い状態となります。(同じ力で突き棒の貫入状況を確かめている)

図2 バイブレーターによって締固められたコンクリートの状態

発生を低くすることが可能です。構造物の中にクーリングパイプを設置してクーリングパイプ内をモルタル充填で良いかという判断は、発注者の了解を得る必要がありますが、設置の承認をもらうのは難しいと考えられます。理論上は良いですが、現実的ではないようです。しかし、型枠の外側から温度を下げる事ができれば、躯体の中に異物を残さなくてよいのでお金をかけずに安価にできる方法を考え出してみてください。

従来技術の施工手順に着目した工法やコンクリートの硬化速度を制御する工法など、NETISには、いろいろな登録技術があります。従来技術の施工手順に着目した工法は、下部拘束体と同時に先行壁体のコンクリートを打設し、その先行壁体に収縮低減目地を設けて下部拘束力を小さくし温度ひび割れを抑制する工法であるND-WALL工法があります。また、コンクリートの硬化速度を制御する工法は、引張応力が卓越する部分に水和熱を抑制する遅延剤を使用して凝結を遅くすることで下部拘束力を低減させて温度ひび割れを抑制する工法であるNDリターダー工法があります。是非、参考にしてください。

良いアイデアが浮かんだら特許を取ることができ、会社の独自技術となりますので、NETISに登録することで、差別化が図れることになります。

2. 「コンクリートの締固め」を考えよう

コンクリートの打設順序を考えてみましょう。フーチングを例にとると構造物の中央から型枠の方向へコンクリート打設していくとブリージング

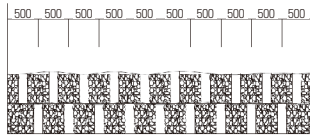
水は型枠側へ追いやられることとなります。ブリージング水を型枠際で回収したとしても、被り部分に水セメント比が高い耐久性の劣るコンクリートになってしまうのは問題があります。ブリージング水を型枠側に集めないようなコンクリートの打設順序を考えると型枠側から構造物の中央に向かってコンクリート打設していくこととなります。被り部分と違い鉄筋の配筋が粗になっている構造物の中央でブリージング水を回収できれば、被り部分は健全なコンクリートとなります。

この打設順序には、もう一つ利点があります。それは、被り部分は過密な配筋となっている場合が多いので、鉄筋の内側から締固めを行っても十分な振動が被り部分に伝わらないこととなります。したがって、被り部分にバイブレーターを挿入して締固めを行う必要があります。先に被り部分のコンクリートが打設されていれば、被り部分を締固める時間が多くなることです。橋脚のフーチングなど中央に立ち上りの鉄筋がある場合には、中央の鉄筋部分を先に打設して、立ち上り鉄筋が動かないようにしてから、被り部分となる型枠側から中央に向かって打設するようにしましょう。繰り返しますが、型枠側からコンクリートを充填することで、被り部分にバイブレーターをかける時間を確保することができますし、ブリージング水を型枠側に集めない手順となります。ブリージング水によって水セメント比が増加すると、ひび割れを発生させる原因となるからです。

バイブレーターによって締固められたコンクリートの状態(図2)は、バイブレーターを引き

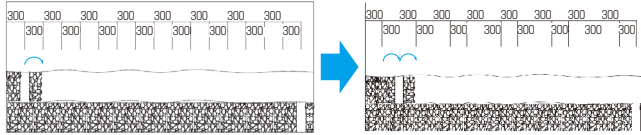
被り部分のバイブレーターによる締固め手順（フーチングの場合）

バイブレーターの挿入間隔が大きい場合の締固め状況



バイブレーターの挿入間隔が大きいと骨材の無いモルタル部分が残ってしまう

バイブレーターの挿入間隔を小さくした場合の締固め状況



- ①バイブレーターの挿入間隔を狭くして、一定方向に移動しながら締固めを行う
- ②骨材の無いモルタル部分を隣接部の締固めに時に、骨材を供給して健全な状態で締固めを行う
- ③最終の締固めた箇所は、昔ながらの突き棒などで締固めて骨材を供給して締固めを行う

図3 出来栄が良く耐久性の高い構築物の創造

抜いた部分の直径10～15cmはモルタル分が集まり骨材の無い状態となります。バイブレーターによって周囲の骨材がしっかりと締固められた結果として、骨材が移動できずにモルタル分だけが集まる状態となってしまいます。しかし、その外側は見事に締固めされ骨材が十分に充填された状態となります。被り部分をバイブレーターで締固めを行わないと出来栄の良いコンクリートにはなりません。豆板などの欠陥があっては、耐久性や美観に問題が残ります。しかし、被り部分にバイブレーターを挿入した箇所は、骨材の無いモルタル分が集まる箇所になっているのです。出来栄の良い構築物を構築しようと締固めを行っているにもかかわらず、構築物の耐久性を確保するという観点から、骨材の無いモルタル部分を作り出しているということは良い状態ではありません。このモルタル部分を残さないためには、再度、バイブレーターによって骨材の無いモルタル部分に骨材を供給する必要があります。

この解決策は、簡単に考えればよいこととなります。バイブレーターの挿入間隔は、一般的に50cm程度となっていますが、バイブレーターを移動させる方向を決めて挿入間隔を30cmにします。バイブレーターによって締固められた部分を一定方向に順番に崩しながら進むように締固めを行うのです。こうすることで、先に締固めた30cm手前の骨材の無いモルタル部分に骨材を供

給しながら、再締固めをしながら移動すれば、理論上、最後にバイブレーターを挿入した箇所だけ骨材の無いモルタル分が残ることになります（図3）。最後の部分は、バイブレーターではなく、昔ながらの突き棒などを使用して骨材を供給して再締固めを行えばよいこととなります。

出来栄が良から耐久性も高いとは言えないことが分かります。今後、創造していく構築物は出来栄が良く、かつ、耐久性の高い構築物としていかなければなりません。そのためには、施工を管理する技術者の品質へのこだわりが重要なポイントになっていると思います。また、構築物を構築するということは、いろいろなことに気を付けていかなければならないこととなります。したがって、このような締固めの理屈を理解させるために、コンクリート打設作業に従事する人全員にバイブレーターの効果を教育する必要があります。特に被り部分のコンクリートの締固めにおいては、担当する人を固定し、打設順序、ブリージング水の処理などを毎回確認して心をつにし、出来栄の良い構築物を作り上げる管理手法が必要となります。

以上から、先達が経験して積み上げたノウハウを記録に残して、品質を向上させるスキルとして、伝承できるようにすることができれば、若年技術者の技術力の向上となると考えています。