

混 凝 土 の 寒 中 施 工

宮 本 武 之 輔

は し が き

混凝土の養生期間と言ふのは極めて漠然たる概念であつて、普通に濕潤養生の必要ありと考へられてゐる 7~10日間が養生期間かと言へば決してさうではない。それでは混凝土が強度を増しつゝある間が全部養生期間かと言ふと、混凝土は 2 年目位まで極めて極微ではあるが強度を増進する事が實驗せられてゐるから、さうなると最後まで養生期間だと言ふのと同じ事になるが、實際問題としては普通のホートランド、セメントならば材齢28日にして設計荷重をかけてもよい事になつてゐるから、28日間を以つてその養生期間と考へてよい譯である。その中でも最初の 7~10 日間は最も大切なる養生期間である。

此の養生期間中混凝土に充分の濕氣を興へる事だとか、過分の荷重をかけない事だとか種々の注意が興へられてゐる内

で、氣温と混凝土の養生との間には極めて密接なる關係があつて、寒中は混凝土材料に氷雪が混入するとか或は又凍結するなどの不便はあつても、氷雪は除却する事が出来る、又凍結した材料は融解せしめる事が出来るけれど、養生期間中混凝土に都合のよい氣温を維持せしめる事が中々困難であるがために、寒中は成るべく混凝土を施工しない方がよいとせられてゐる。

寒中とは言つても之には地方的の情況が最後の決定權を持つてゐるので、倫敦や巴里の如き所では眞冬と雖も特別の設備を講ぜずして混凝土の施工が出来るが紐育などでは特殊の設備を施さない限り冬期中の混凝土施工が不可能である。東京などでは冬の間、氣温が低いがために混凝土の施工が出来ない様な日は幾日もないけれど、わが國でも東北、北陸、北海道などになると中々さうはゆかない。さう言ふ地方では冬期は仕事を休んで春夏秋の間に混凝土をやらればよい様なものゝ河川の堰堤工事の如きは夏は洪水の危険があるから、どうしても冬の湛水期を利用して混凝土を施工しなければならぬ場合が少くない。

信濃川補修工事に於ても一月、二月と言ふ最冬期に吹雪と戦ひ積雪を冒して堰堤混凝土を施工する必要に迫られ、且つ何等混凝土に有害なる影響を蒙らしめる事なくして之を敢行したのであるから、次に少しく混凝土の寒中施工に就て説明して見ようと思ふ。

養 生 中 の 温 度

混凝土施工當時からその最初の養生期間中の温度に就ては次の重大なる要點に注意する必要がある。

(1) 混凝土は絶対に凍結せしめてはならない。

混凝土の施工中は固より、施工後に於てもセメントの水化が不完全である間や、又はセメントと化合せざる自由状態の水が乾燥しきらない間は、氷點以下の温度に對しては凍結の虞がある。混凝土が凍結した場合にはセメントの水化作用が停止せられ、従つてセメントは凝結、硬化せず全く結合材としての効力を失ふ事になるから、殆んど強度を發生しないのである。先年奥丹後の震災の時に降山町附近の鐵筋混凝土建變電所が脆くも破壊してゐるのを見て、その原因が凍結混凝土にある事を指摘したのは當時本誌に記した通りである。

唯氣温が氷點又はそれ以下であつてもセメントが氷と化合する時に發生する化合熱のために、混凝土内部の温度は必ず氣温より高くなるのを常とするが故に混凝土が凍結しない場合が少くない。それを考慮して適當なる保温法を講じさへすれば、凍結氣温の場合にも混凝土を施工してよい譯であるが、安全のためには氣温 2°C を下る場合、又は施工後24時間以内に氣温 2°C を下る虞ある場合には混凝土の施工を中止する様に規定して嚴に凍結を戒めるのがよからうと思はれる。

次は

(2) 混凝土の温度は之を一定に保つがよい。

特に早期養生期間中に於ける混凝土の温度は成るべく一定に保つのが養生の本旨に叶ふ所以であつて、温度の急激なる變化は努めて之を避けなければならぬ。此のためには夏期と雖も表面を覆被して晝間炎天に晒されたり夜間急に冷却したりする事を防がなくてはならないが、冬期は特に危険であつて晝間は比較的气温が上つても夜間は温度が急降して氷點以下に降る事があるから、混凝土の温度に急變ならしむる爲には充分の保温設備と暖房装置との必要があるのである。

木材が乾燥交互作用によつて容易に腐朽するのと同じく、混凝土は凍結融解の交互作用のために致命的の損傷を蒙り、その後如何に気温が上昇しても決してその硬化力を恢復する事がないのである。最後に

(3) 混凝土は成るべく高温度で養生するがよい。

混凝土は凍結温度以上でありさへすれば如何なる温度を標準として之を養生してもよいかと言ふに、成程凍結温度以上でありさへすれば先づ混凝土の被害は免れ得る譯ではあるが、養生期間中の温度は成るべく高いがよい。

養生期間中の温度が 60°C 付近の範囲内では混凝土の強度は此の温度に比例して上昇し、低温度で養生せられたものは高温度で養生せられたものゝ方が強度が高いと言ふ性質があるから、冬期施工の混凝土は此の點から言つて最も不利な立場に立つものと言はなくてはならない。

従つて厳冬時混凝土施工の際の暖房装置は気温を氷點以下に下らしめないと云ふ最低限度に甘んずる事なく、更に進んで出来るだけ高温度を維持せしめる積極的方策を取るのが望ましいのである。

凍 結 材 料

厳冬時にあつては混凝土材料の内セメントは別として屋外に貯蔵せられた混凝土材、即ち砂や砂利は氷雪を混じたり或は又凍結したりする事がある。雪國にあつては根雪と稱して冬期中地上から雪の消える事が無いのを常とするから此の雪を除却してからでなくては砂や砂利を使用する事が出来ない。此の除雪作用を簡易にすると同時に之を有効にするためには砂利や砂の山積の表面を筵や萱簀の如きもので被ふて置くのがよい。そして使用するに従つて此等の覆被物をまくつてゆ

く事にすれば、殆んど雪が混凝材中に混入する事がないのである。若し否らずして混凝材の上に直接積雪がある場合にはシヨベルなどを以てしては到底完全に之を除却する事を得ないから、最後に表面に残留する雪は湯湯か又は蒸汽で融かさなくてはならないが、砂利はそれでもよいとして、砂は此の融雪のために極度に含水量を増し、計量、運搬ともに不便なるに止まらず、そのために容積を膨脹するから計量を不同ならしむると同時に、混合用水量の調節を困難ならしめるのである。

補修工事に於ては砂利は分量も多いし之を覆蔽する事は困難であるから、積雪の中に放置したけれど砂だけは萱で簀を作つて表面を被ふ事にしたのである。砂利は使用の度毎に表面の積雪を除却し冷水又は湯湯を以て残雪を融かしてから之を計量運搬したが、気温の低い時には冰雪を融かすために必ず湯湯を使用しなくてはならない。

假令積雪のない場合、又は材料が凍結してゐない場合であつても非常に気温の低い時、特に早朝仕事に着手する際は、混凝材を多少温めてから使用するのがよい。之には砂及び砂利の山積の中に蒸汽管を通し所々に排汽口を設けて蒸汽を噴出させる事にするのが便利であつて、汽罐と蒸汽管とがありさへすればこれ位の設備は簡単に出来る。

それから混合用水であるが、之も気温の低い時は多少温めて使用するのがよい。水を温めるには水槽の中に蒸汽管を入れて、ノツブルを通じて蒸汽を水中に噴込めばよい。私は東京で冬期の混凝土工事を施行した時は、汽力混合機を使用してゐたから、早朝仕事に着手する前に水槽中に蒸汽を噴込ませて水を温めた後に混凝土の混合を始めさせたが、電力混合機や内燃機式混合機の場合には別に此のために汽罐の必要がある。

補修工事に於ては凡て電力混合機を使用したから、混合用水を温めたり、混凝材の冰雪を融かしたり、施工箇所の保温

用などのために工事用蒸気機関車や汽力柄鑿機、汽罐などを持つて来て、蒸気を発生させたのであるが、電力が豊富低廉なる場合には電熱器を使用し、温湯を作つたり暖房装置を施したりするのが便利であらう。

風 雪 中 の 施 工

假令雪の降らない時であつても施工中及び施工後の混凝土が寒風に吹き晒されることは絶対に之を避けなければならぬ。此のためには帆布、筵、苫などで風除を作る。例へば建物などであつても床版の混凝土を施工する場合には、外壁に沿つて帆布を張り巡らして寒風を防ぐのである。まして風雪中の混凝土施工は周囲の風除の外に屋根を作つて雪除としなければならぬ。かうして混凝土は風雪を避けて小屋の中で施工せられるのであるが、氣温が低ければ此の小屋の中に電熱器を備へ或は炭火又は薪暖爐を配置して氣温を高めるのである。

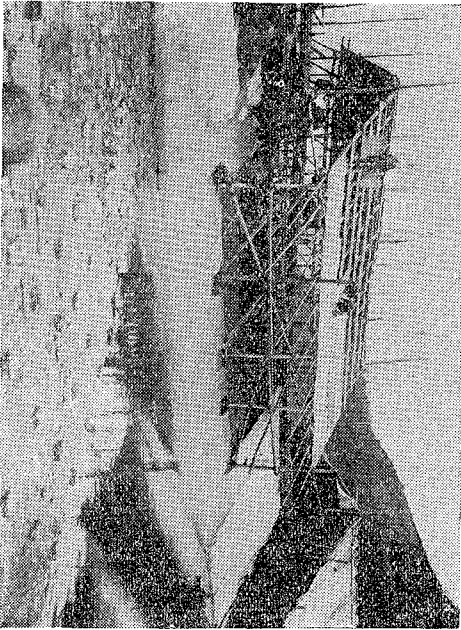
先日私は富山縣庄川筋の昭和電力株式会社祖山堰堤を視察して嚴冬中の混凝土施工の情況を聴取したのであるが、同堰堤工事に於ても嚴冬中は混凝土施工箇所を帆布を以て假小屋を作り、此の中に電熱器と暖爐とを配置して氣温の上昇を計つたと言ふ事であつた。

米國ウネスコンシオン州、ケノシヤの基督教青年會館は嚴冬中約 3,000^m³ の混凝土を施工し、冬期施工に對する特殊の仕様條項としては

- (1) 型枠内に投入せらるゝ混凝土の温度は 16°~27° C の間たるべし。
- (2) 混凝土施工後少くとも 5 日間はその温度を 20° C より下らざらしむるを要す。

此の二箇條だけで具體的の對策は一切請負人に任せたと云ふ事であるが、請負人は古汽罐1個、スチーラー、ホーズ45m、暖爐100個、帆布 930m²、施工後の混凝土の表面を被ふためのジザルクラフトと呼ぶ洋紙 1,860m²を設備し、床版の混凝土施工に先だつてその直下の階の窓を全部帆布で以て閉塞して外氣との連結を斷ち、その階の床上に面積 17m² 毎に暖爐1個づゝを配置して下から混凝土の型枠を温めると云ふ様な方法を取つてゐる。

補修工事に於ても大河津村地先の可動堰工事、寺泊町地先の第二床固堰堤工事は昨冬の嚴寒中に多量の混凝土を施工し12月から2月に至る冬期3箇月の混凝土施工量は前者に於て 7,600m³ 後者に於ては 8,760m³ に達してゐる。今冬も亦嚴寒

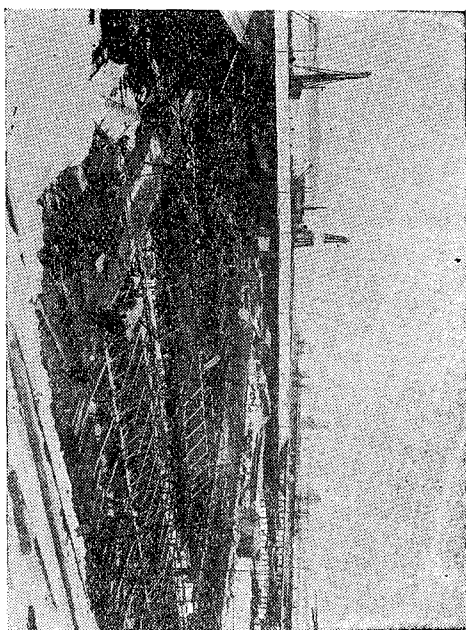


第一 圖

第二 圖

中に風雪を冒して混凝土を施工する筈であるが、第二床固堰堤箇所は分水路の終端に近く、日本海を渡つて来る寒風に吹き晒されるので、雪量は少いけれど蓋で假小屋を作り、風除を設けてその中で混凝土の施工を進めたのであるが、假小屋は混凝土の保温養生のためにその早期養生期間中は之を撤去しない事にしたのである。

第1圖及び第2圖は第二床固堰堤工事に於ける冬期混凝土作業を示した寫眞である。



第 三 圖

可動堰工事に於て昨冬施工したのは主として基礎及び水中の地盤標高が可なり低い所から、風當りは非常に弱く且つ地下湧水などの關係から温度も餘り低くなかつたので此の方は風除を作る程の必要がなく、それに施工面積が大きいので屋根を造る譯にもゆかなかつたが、その代りに氷雪を融かすためと暖房のために蒸気管を通じて置いて之に機關車用汽罐から蒸気を送つたのである。

第3圖は可動堰基礎混凝土施工中の寫眞である。

セメントと用水量

冬期施工の混凝土は絶對に凍結を防止すると言ふのが主眼であるから、此の意味に於てセメントの品質や用水量に就ても適當の注意が期はれなくてはならないのである。

先づセメントに就て言へば硬化作用の早い所謂急硬セメントを使用して短期間に高強度を發生させる、換言すれば水化作用を促進して混凝土凍結の機會を軽減するのがよからう。急硬セメントの中でも礬土セメントなどは硬化が迅速であるばかりでなく、水化作用の繼續中は普通のセメントよりも遙かに高い化合熱を發生するから、此の點から言つても凍結防止の効力がある。但し礬土セメントは國産品でもないし、價格も非常に高いから特殊の場合を除いては幾ら寒中混凝土だからと言つて、一般の工事に使用する譯にはゆくまい。

之に反して急硬ポートルランド、セメントならば價格もそれ程高くはないから、之ならば一般的に使用せられる可能性がある。急硬ポートルランド、セメントは所謂高級セメントと呼ばれるもので、淺野のペロ、セメントなどは更にそれより一段上の超高級など稱してゐるが、一般のセメントの品質は漸次改善に改善を加へられてゆくから、近い將來に於ては凡てのセメントが高級乃至超高級に昇格して低級セメントのまゝで是如たるものはなくなる事を私は信じてゐる。

次に水量の問題であるが、たとへ高級乃至超高級セメントを使用しなくても、水、セメント比を低くさすれば可なり短期強度を高める事が出来る。水、セメント比(容積)0.5の混凝土、材齡4週の強度は同比1.0の混凝土のその約2.5倍に達する。例へば米國加州の某地で施工した混凝土では、混凝土 $1m^3$ 中のセメント含有量を約385kgとし、モランフは $19\sim 25mm$ の範圍に止めて強度は $350kg/cm^2$ を發生せしめたとある。

水量比を低くする事は混凝土の短期強度を高める事になるのみならず、セメントと化合せざる自由状態の過剰水を減す

る事になり、蒸發の少ない冬期に於ては此の過剰水が混凝土の空隙中で凍結する危険を除くために、成るべく過剰水量の低減を計つた方がよいから、此の意味から言つても冬期施工の混凝土は用水量を減じて、出来るだけ硬練を採用するのがよいのである。

鹽 化 石 灰

セメント急結劑として鹽化石灰を混入する事は、セメントの凍結を促進するのみならず、之を水に溶解すると多量の化學熱を發生して著しく水溫を高めるから、混凝土の凍結を妨げる上から言つても有効であるが、鐵筋混凝土に於ては鹽が鐵筋に悪影響を及ぼす虞があるから、その使用を禁じた方がよからう。鹽化石灰は工業用には製氷所などで寒劑として使用せられ、白色の粉末として罐中に密閉して發賣せられる。

工業用粉末鹽化石灰の組成は大約次の如し。

鹽 化 石 灰	6.13%
水	28.0%
不 食 鹽	9.8%
純 珪 酸	0.7%
物 其 他	0.2%

之を混和するには混合用水中に溶解して水溶液として使用する場合と乾燥状態に於てセメントに混和する場合との別が

あり、前者よりは後者の方が凝結促進の効果が大きいと言はれてゐるが、乾燥状態で鹽化石灰とセメントとを全部一緒に混和する事は困難であり一部分に多量の鹽が含ませられる時は、混凝土の強度減殺の危険があるから、水溶液として使用するのが施工上安全である。

多量の鹽はセメントの凝結を速かならしめる効果はあつても、混凝土の強度を減損する危険があるから、その使用量はセメントに對する重量百分比 0.3~0.5% 以下、水溶液としての濃度 ~2% 以下に限定するがよい。

次表は鹽化石灰水溶液の濃度を種々に變じた場合の純セメントの凝結時間に関する實驗の結果であつて、混合用水はセメント重量に對して 25.5% とす。

鹽化石灰溶液(%)	凝結開始 時分	凝結終結 時分
0.5	1—19	4—9
1.0	0—59	2—59
1.5	1—43	3—8
2.0	1—23	2—33
2.5	1—0	2—18

之位の範圍内ではセメントの強度減損の痕跡はないのである。價格は 73kg 入 1 罐 3~4 圓。

施工後の養生

混凝土施工後の養生に關しては、濕潤養生は夏と冬とを問はず必要であり、急硬セメントを使用した場合には特に濕潤

養生を充分にするに必要があるが、嚴冬中は別けても保温養生に關して細心の注意を必要とし、前記の如く假小屋を作つてその中に暖房装置を施して室内の温度を一定に保つ事が望ましい。

補修工事に於ける第二床固堰堤では假小屋の中で混凝土の施工及び養生を行つた事は前述の通りであるが、養生の方法は先づ施工後24時間位で混凝土の表面に深さ5~8cm程度で水を漉へ、所々に土臺を置いて薪暖爐を配備し、之によつて小屋の中の温度を5°~20°に維持したのである。暖爐には徹夜で薪を裝填する専屬の番人を付け、之によつて絶対に混凝土の凍結を防止する事が出来た。

可動堰工事に於ては小屋は造らなかつたが、施工後直ちに表面を藎で被ひ、24時間後には同様に地下湧水を漉へて同時に濕潤養生と保温養生とを兼用せしめ、或は桐鑿土砂を表面に撒布して所謂濕砂養生を行つたのである。

斯の如き便宜に乏しい所では藎を厚く表面にかけ、更にその上に帆布などを被つて、混凝土を風雪から絶縁して置かなくてはならない。

わが國は豐葦原の瑞穂の國である所から混凝土の被覆物としては藎藎が斷然頭角を表はしてゐるが、藎をかけるに就ては次の様な注意を必要とする。

(1) 嚴冬中は一刻も早く藎をかけて風雪を防ぎたいがために、軟い混凝土の上へぢかに藎を掛けがちであるが、荒では混凝土の表面に藎目が残り、甚しきは藎の葉が喰込んだりして結果が面白くない。丸太や竹などを架け被してその上に藎をかけ、藎が直接混凝土の面へ接しない様にすべきである。藎と混凝土とが接觸せずしてその間に空氣層を有する事は保温上から言つてもよい。

(2) 筵は使用前充分に水をかけて黄色の薬汁を流して仕舞つてから使ふのがよい。然らざれば、灌水によつて、或は降雨のために黄色い薬汁が混凝土の表面に滴下して、混凝土を黄色く着色する。此の黄色は後から脱色する事が困難であるのみならず、化学的に言つても薬汁はアルカリを含有してゐるから混凝土に有害である。

施 工 上 の 注 意

以上の説明で混凝土の寒中施工上の問題には全部觸れ得たつもりであるが、補修工事に於て私が實際に各現場に配布せしめた嚴冬期混凝土施工注意なるものは次の通りである。

- (1) 気温 20°C を下る場合には混凝土を施工すべからず。混凝土打ち終り後10時間以内に気温 20°C を下る虞ある場合亦同じ。
- (2) 厚さ50cm未満の混凝土は厚さの大なるものに比して凍結の危険大なるが故に特に注意を要す。
- (3) 氷雪を混じ又は凍結せる混凝土(砂利、砂)を使用すべからず。氷雪を混じ又は凍結せる地盤上に混凝土を施工すべからず。冷水又は温湯を用ひて氷雪を融かし去るべし。
- (4) 風雨又は風雪の日は局部的に屋根を造り、且つ風上には萱簀の如きものを以て風除を造り、混凝土が直接寒風に晒さるゝ事を避くべし。

(5) 寒風凜烈なる場合は石油罐を利用して暖爐を作り、風除内の気温を上昇せしむるか、或は汽罐より蒸気を送りて暖房法を講ぐべし。

(6) 拂塵及び薄暮の混凝土作業は特に注意を拂ひ、能ふべくんば混合作用水に温湯を使用すべし。

(7) 混合作用水量を厳密に制限し水量比を最大80%以下ならしむるを要す。水量比はセメントに對する用水量の容積比を以て之を表はし、セメント $1m^3$ を $1.5t$ 、水 $1m^3$ を $1.0t$ とする標準に従ふべし。

(8) 混凝土作業が夜間に亘る時は假令深更に至らずして作業を終る場合と雖も、翌日拂塵に於て凍結の危険あるが故に鹽化石灰を混用するをよしとす。鹽化石灰は之を粉砕して混合作用水中に混入溶解せしめ、その使用量は水 $1t$ につき $2kg$ を標準とすべし。鹽化石灰は潮解性強く、濕氣を吸收し易きが故にその貯藏に當りては石油罐の如きものに密閉するをよしとす。

(9) 混凝土打ち終り後はその表面に筵²枚以上を被ひ、特に寒冷なる場合は更に此の上に萱又は帆布を被ひセメント凝結中の凍結を防止すべし。

(10) 地下水湧水を利用し得る場合には混凝土施工後²⁴時間を経過せし後にその上に地下水湧水を湛へ、所謂湛水養生法を講ずるをよしとす。