

アメリカの技術紹介

アメリカの寒中コンクリート 工法について

正員 北海道大学教授 工学博士 板倉 忠 三

I 概 説

最近、公共事業、電源開発その他の工事が舊に倍して著しく多くなつて來たのは民生の福祉増進、文化の向上の點から大いに歓迎すべき事であるが、豫算年度の關係上冬季間に持越すものが多く寒中コンクリートが盛んに行われるようになった。コンクリートの品質、施工經濟から見て決して好ましいことではないが、構造物の種類その他からこれが止むを得ないとすればその対策を講ずる必要がある。

これには A C I 規準の標準工法の全貌と、國務省開拓局のコンクリート手帳の關係部分を拾つて見た。アメリカは勿論、カナダでもこれに準據しているのである。その中で注意すべきことは、アメリカでも寒冷に對するコンクリートの擧動に關する研究が充分ではないといへば氣温に應じてコンクリートの練上り温度と水及び材料の加熱の程度を明確に指定していること、鹽化カルシウムの使用を規定していること、及び施工經濟を常に考慮していること、記述は極めて懇切丁寧であること等である。鹽化カルシウムの使用は、少量のコンクリート或は電氣設備の不便な箇所、或はこの設備が不經濟な場所には、我々ももつと活用すべき余地があると考えられるので、これに關する項目も拾つて見た。殊に注目すべきはこの種鹽類が鐵筋を腐蝕する證據が實地上には無いとされている點である。しかしこれを用いても、必らず量は規正され、保温設備を省略し得るようになっていないこと、並に凍結防止の目的には使用されるべきではないこと等は同時に注意すべきである。

鹽化カルシウム混和モルタルの急硬化性を利用した漏水止めも面白い工法と思う。

この A C I 規準は202委員會で更に検討を續けて居り、今年の大會ではカナダの委員の提案でもう少し温度條件がゆるめられる形勢にある。

技術は常に經濟を伴つて初めて完成される。ここに掲げた推奨工法も我が國の國情及び技術水準からいつて急に應用出来る部面と然らざるものがあると思う。これらは我が國の技術水準に比して相當に高いことを知らな

ければならない。余程の大工事が豫算の豊富な時でなければ利用出来ない面もある。しかし乍ら我々は一步步前進し寸時も停滯することは許されない。規準は飽く迄も一般的な規準であつて、そのまゝの適用は

TECHNICIAN でよいが、これが現場の状態、構造物の性格、施工經濟に應じて弾力性を與えるのが眞の ENGINEER である。而してどこまでも理論と研究の成果を勉強しそしやくして監督側も施工側も ENGINEER

たるものは共通の目的に結集し、經濟的な施

工技術を完成すべきである。

尙本稿中米國務省開拓局の工事任様は原本と京大近藤教授著コンクリート便覽とを参照した。

II A C I 規準

寒中コンクリート推薦工法

梗 概

この A C I 規準は薄い斷面及びマスコンクリートの寒中コンクリート工事の規準方法を定めている。材料の加熱、硬化促進劑、養生及び養生中の温度記録、路盤（或は基礎面）の準備、養生中の保護被覆及び型枠の取外しを2つの型の工事について討議して提案された方法を示している。附録には推薦工法のあるものについてその根據を示す裏付けの資料と共に特別な寒中工法の對象を概説している。附録中の圖はコンクリートの強度に對する養生温度の影響を示し、更に寒中コンクリート工法に關して雑誌に登載された文献から選擇した135編の参考文献の表を入れてある。

A・建築、舗装及び他の薄い斷面の寒中コンクリート施工に對する推奨工法

1. 保温を要する温度

寒い季節になる前に、これに對する計畫をよく樹てるべきである。経験又は温度の記録から温度が下降しそうだと豫想される時には、若當時のすべてのコンクリートを保護する計畫を決定し、温度が降下しない前に必要な特殊施設及び材料を工事現場に設備すべきである。

打込み場所の氣温がコンクリートを打込んでから24時間以内に4.4°C(40°F)以下に降下するか、或はその後の6日間、-1.1°C(30°F)以下に降下しそうだと豫想される時は、常に次の各節に概説するような保護方法を講ずることを推奨する。

2. 材料の加熱

氣温が-1.1°C(30°F)以下にならない場合には、混練水はミキサ内のコンクリートの温度が10°C(50°F)乃至26.7°C(80°F)になるように加熱すべきである。或はコンクリート量15.7立米以下の小さな工事だけは、その替り

にミキサ内にトーチを入れてこれで加熱してもよい。

気温が -1.1°C (30°F) 乃至 -17.8°C (0°F) の時には、ミキサ内のコンクリートの温度が 10°C (50°F) 乃至 32.2°C (90°F) になるように混練水と細骨材の双方を加熱すべきである。粗骨材は凍結した塊のないものだけを用いるべきである。

気温が -17.8°C (0°F) 以下の時は、水、細骨材及び粗骨材をすべて加熱して凍結を融し、ミキサ内のコンクリートの温度を 10°C (50°F) 乃至 32.2°C (90°F) に上げるべきである。

混練水は1バッチ毎の温度が余り変動しないような管理をし、且これに充分な量を加熱すべきである。骨材か水を 37.8°C (100°F) 以上に加熱する時には、急激な凝結を起すのを防ぐ爲、セメントがこのような熱い材料と接觸しない順序でセメントをミキサ内に投入すべきである。

骨材は凍結した塊、氷、雪が融ける程度で、熱し過ぎたり或は乾燥し過ぎないように加熱すべきである。骨材の温度は到る處で 100°C (212°F) を超過すべきではなく、且つ骨材の各バッチの平均温度は 66°C (150°F) を超えるべきではない。骨材の加熱には蒸気のコイルを用いることが推奨されるが、遠隔地の小さな工事には、骨材を暗渠の上に被せこの内部で火を焚いて、注意深く熱して融してもよい。

堆積した骨材、車輛又はトラックに積んだ骨材を蒸気コイルで融かしたり加熱する時には、外気に晒される表面は出来るだけ均一な熱の分布を保ち、凍結層が出来ないように防水布で覆うべきである。

3. 硬化促進劑及び凍結防止用混和物

0°C (32°F) 以下の低い温度の時にコンクリートの硬化する爲、少量のセメントを加えるか、鹽化カルシウムのような硬化促進劑を少量用いることは許してもよいが、若齡に於てコンクリートの硬化を普通以上に促進するか、普通の強度よりも高い強度を得る爲に、多量のセメントを加えたり或は2%以上の鹽化カルシウムを用いたりすることは將來に有害な影響を及ぼす處があるかどうかを注意深く考慮した後のみ許されるべきである。

諸種のコンクリートの凍結點を下げる爲、配合に鹽類、化學藥劑若しくは素性の知れない物質を用いることは許されるべきではない。

4. 養生温度

普通セメントを用いて新らしく打込んだコンクリートは7日間 10°C (50°F)、或は3日間 21.1°C (70°F) 以上の温度に保つべきである。なお次の4日間は少くも 4.4°C (40°F) の温度を維持するのはよい工法である。養生期間の終りに於て、コンクリートのいかなる個所でも温度の降下が24時間に 22.3°C (40°F) を超えないように加熱を

止め、圍いを移動すべきである。

早高強度セメントを用いたコンクリートは2日間は 21.1°C (70°F)、若しくは3日間 10°C (50°F) 以上の温度に保つべきである。

硬化したコンクリートの表面の温度は養生期間中は常に 37.8°C (100°F) を超えることは許すべきではない。保護と養生の方法はコンクリートからの濕氣の近散が多過ぎないようにすべきである。

5. 温度の記録

記録は年月日、時刻、外気温、覆いの内部數ヶ所に於ける温度、及びコンクリートの表面ではその表面の最高及び最低温度を表す爲に、恒久的に取り続けるべきである。この爲にはコンクリートの表面に埋込んだ温度計を用いるのがよい。温度計の読みは朝作業を開始する時と午後遅く再び読み取るべきである。この様にして得たデータは温度を読んだ各々の位置及び温度に影響を及ぼすと考えられるどんな條件でも、これを明瞭にするように記録すべきである。温度記録の寫しは將來の参考に保存すべきである。

6. コンクリート打込作業前の準備

いかなる型枠の中にも、或はいかなる鉄筋の周圍にも、若しくはいかなる表面にもコンクリートを打込む前にはすべての氷、雪及び凍結は完全に取除き、コンクリートに接するあらゆる面の温度は氷點以上に上げるべきである。いかなるコンクリートも凍結した基盤上或は凍結した物質を含む基盤上に打込むべきではない。

7. 保護

新らしく打込むコンクリートの覆い或は圍いは打込みに先立つて段取すべきであつて、コンクリートのあらゆる部分を養生温度の節で推奨した温度及び濕度の状態に保つべきである。気温が -1.1°C (30°F) 以下には降下しない時はコンクリートの表面をよく覆つてあれば舗装、歩道或はその他の地面上の平たいスラブには人工の加熱は必要ないだろう。このような保護は、コンクリートに傷がつかずに載せ得る程度充分に硬化した直後、少くも20cm (8吋) の厚さに乾草或は藁をふわつと載せ、その上に斷熱マット、或はキャンパスを被せておいてもよい。更に温度が下つた場合には、コンクリート表面の温度を最低點で 4.4°C (40°F) 以上、最高點で 37.8°C (100°F) を超えないように維持する爲、コンクリートの覆い或はその周りを包んだ内部に充分な且よく分布した人工の加熱を用意すべきである。

圍いは相當に堅固で、風及び雪荷重に對して安全な限り、木材、キャンパス、シートロック、セロテックス、シサル麻製クラフト、タール紙、合板或はその他の適切な材料で造つてもよい。圍いは仕來る限り耐火的に建造すべきである。この種の圍いを建造する場所は、どこで

も、容易に近づき得る場所に十分な消火器具を備えておくべきである。工事には常に加熱装置を絶え間無く扱うのに備えて従事員を常置すべきである。

床スラブを打込むには、脚立或は骨組で支えた防水布又はその他の移動の容易な覆いが、コンクリートの打込むについて追いかけ、仕上ったスラブの一時外気に晒される部分が出来るだけ少くほんの数呎に止まるようにすべきである。このような防水布は加熱された空気がスラブの頂面、底面の両方に自由に循環出来るように配置すべきである。コンクリートの上に直接置いたセロテックスの層は又凍結の阻止に効果のあることがわかった。

圍い及び覆いは、次の型枠を建込むか、次のコンクリートを打込む必要上、その一部分を一時取外す以外は、指定した養生の全期間を通じてそのままにしておくべきである。但しこの時には型枠やコンクリートが最終の位置に据え終れば全部の取外した圍い及び覆いは即刻元通りに据え直すことが条件である。

8. 型枠の取外し

コンクリート部材の支保は、コンクリートがその構造物の建造中その上に掛ると思われるいかなる一時的或は恒久的の荷重、並にその自重を加えたものを支えるに充分の強度を出し終る迄は障礙を與えぬようにしておくべきである。

梁の側面、柱の型枠或は壁體の型枠はコンクリートがその自重を支えるに充分な程度硬化したならば直ちに取外してよい。但し型枠取外しの作業は構造物のいかなる部分をも傷めないことが条件である。

上述のいかなる型枠、セントルの取外しにも、これに先立つて構造物の設計に任じている技術者の同意を得るべきである。その同意を得る前に、技術者はこの特別な部分のコンクリートを打った月日、打込んでからの期間中、その部分が最も多く遭遇した温度状態の記録、コンクリートが達し得られたと考えられる強度及びその部分に將來掛ると予定している荷重に關係のある事實はいかなるものも無く、充分の事情を開陳すべきである。

若しその記録及びコンクリートの状態に基づいた設計技術者の意見が、型枠を取外す事によつて構造物の全體は勿論、どんな小部分でも損われそうであるということならば、型枠は安全を確保するに必要であると考えられる期間を追加しそのままに置くべきである。すべての部材の支保に對しては、必要に應じて、適當な支保の補強をするべきである。これらの補強用支保は、支保されている部材に過大の荷重が掛る危險がすべて過ぎ去る迄そのままにしておくべきである。

B. マスコンクリートの寒中コンクリート施工に對する推奨工法

1. 保護を要する温度

寒い季節になる前に、これに對する計畫をよく樹てるべきである。經驗又は温度の記録から温度が降下しそうだと豫想される時には、温度が降下しない前にすべての新しく打込んだコンクリートを保護する計畫を決定し、必要な特別な設備及び材料を工事現場に準備すべきである。

コンクリートを打込む場所の気温がコンクリート打込み後24時間以内に 1.7°C (35°F) 以下に降下すると豫想される時は、いつでも、次の各節に概説する保護の方法を講ずることを推奨する。

2. 材料の加熱

気温が -1.1°C (30°F) より降下しない時には混練水は、ミキサ内のコンクリートの温度を 4.4°C (40°F) 乃至 15.6°C (60°F) に上げるように、加熱すべきである。

気温が -1.1°C (30°F) 以下の時には、混練水と細骨材を、ミキサ内のコンクリート温度を 4.4°C (40°F) 乃至 21.1°C (70°F) に上げるように、加熱すべきである。粗骨材は凍結した塊又は水を含んではならない。混練水はその急激な温度の變動を避けるような管理をし、且つそれに充分な量を加熱すべきである。水の温度が 66°C (140°F) を超えることは許すべきではない。

骨材は、凍結した塊、氷及び雪が融け、熱し過ぎ或いは乾燥し過ぎないように、加熱すべきである。いかなる箇所でも骨材の温度は 100°C (212°F) を超えるべきではない。骨材の加熱には蒸氣コイルを用いることを推奨する。

堆積してある骨材、車輦或いはトラツクに積んである骨材を蒸氣コイルで融したり熱したりする時には、外気に晒される表面は、できるだけ均等な熱の分布を保ち、凍結した層ができないようにするため、防水布で覆うべきである。

3. 養生温度

新しく打込んだコンクリートは14日間は 4.4°C (40°F) 以下にならぬ温度に保つべきである。コンクリートの表面の温度は養生期間中はいかなる場合も 37.8°C (100°F) を超えることは許すべきではない。保護と養生の方法はコンクリートからの濕氣の逸散が多過ぎないようにすべきである。

4. 温度の記録

記録は、年月日、時刻、外気温、覆いの内部の数カ所における温度、及びコンクリートの表面ではその表面の最高及び最低温度を表わすために、恒久的に取り続けるべきである。このためにはコンクリートに埋込んだ温度計を用いるのがよい。温度計の読みは、朝作業の開始の時、午後遅く及び眞夜中に再び読み取るべきである。こうして得たデータは各讀みの位置及び温度に對して影響を及ぼすと考えられるあらゆる條件がわかるように記録

すべきである。温度記録の寫しは將來の參考に保存すべきである。

5. 凍結防止用混和物

コンクリートの凍結點を降下させるため、配合に鹽類、化學藥劑或いはその他の素性の知れない材料を用いることはマスコンクリートには許すべきではない。

6. コンクリート打込作業前の準備

いかなる型枠の内部、いかなる鐵筋の周圍或いはいかなる表面にもコンクリートを打込む前に、すべての氷、雪及び凍結は完全に取除き、コンクリートに接するすべての面の温度は結氷點以上に上げるべきである。いかなるコンクリートも凍結した基盤上或いは凍結した物質を含む基盤上に打込むべきではない。

7. 保護

新しく打込んだコンクリートの覆い或いは圍いは、打込みに先立つて段取りすべきであり、コンクリートのすべての部分を養生の節に規定した温度及び湿度の状態に保つに充分なるべきである。気温が -1.1°C (30°F) 以下には降下しない時には、コンクリートの表面を型枠或いはキャンパスで覆い、キャンパスとコンクリートの表面との間に空間を維持するように配置してあるならば、人工的に加熱することは要しないだろう。更に温度が降下した時には、コンクリートの覆いの内部、或いはコンクリートの周圍を包んだ内部に、最低點で 4.4°C (40°F) 或いはそれ以上、最高點で 26.7°C (80°F) に保つよう充分な、よく分布した人工的な加熱を用意すべきである。

圍いは相當に堅固で風及び雪荷重に安全な限り木材、シートロツク、セロテツクス、キャンパス、タール紙、合板或いはその他の適切な材料で造つてもよい。圍い及び包みはできる限り耐火的の建造なるべきである。工事には常に加熱裝置を絶え間なく扱うのに備えて従事員を常置すべきである。

圍い及び包みは、次の型枠を建込むか、次のコンクリートを打込むのに必要で、その一部を一時取外す以外は、指定した養生の全期間を通じてそのままにしておくべきである。但しこの時には型枠やコンクリートが最終の位置に据え終れば、今取外した圍い及び覆いは即刻元通り据え直すことが條件なのである。

養生期間の終りに於いて、人工加熱は取止め、コンクリートのいかなる點においても温度の降下が24時間に 11.1°C (20°F) を超えないような様式で圍いを取外すべきである。

8. 型枠の取外し

無筋のマスコンクリートの型枠は、コンクリートが構造物の建造中に掛ると思われるいかなる一時的或いは恒久的な荷重並びに自重を加えたものを支えるに充分の強度をだし終るまでは、障礙を與えぬようにしておくべきで

ある。

鐵筋コンクリートの構造部材の型枠或いは支保を取外す時期は構造物の設計に任ずる技師者の同意に従うべきである。

C. 附 録

寒中コンクリートの對象

寒中はコンクリートが打込み及び養生期間中凍結温度に晒されている時、コンクリートの強度と耐久性が惡影響を受けるから、特別なコンクリートの施工方法が必要である。その方法は次に述べることに充分でなければならない。

(1) 若齡時における凍結及び融解によつてコンクリートの受ける毀損を防ぐ。

(2) 望む時に速かに轉用するために型枠を取外し、構造物に荷重を掛けることを許し得るように、コンクリートに初期強度を發現せしめる。

(3) 適當な養生状態を維持する。

(4) コンクリートの強度應力に抵抗するに充分な程度に發現し終る前に過大或いは急激な温度變化に限界を與える。

(5) コンクリートの設計或いは豫定している使用に一致した經濟の度合を得る。

1. 若齡時における毀損の防止

コンクリートが1或いは2サイクルの凍結によつてひどく毀損を受ける限界期間の嚴密な限度は不確實で、疑もなくコンクリートの成分中及びこれをつくる時の多くの要素により影響される。それでもこの限界期間の限度に影響する主要な要素はコンクリートが強度を増進する割合である。經驗及び貧弱ではあるが實驗室の試験によれば、コンクリートの壓縮強度が 35kg/cm^2 (500 P S I) を超えれば、1或は2回の凍結サイクルではひどく毀損されないことが明らかにされている。構造物のすべての部分には本當に代表的壓縮試験をすることはできないから、指定された各クラスのコンクリートにおいてコンクリートの最も弱い部分であつても設計強度を保證するような打込み及び養生温度に限度を定めることが必要である。

若齡時において凍結によつて毀損されぬようにコンクリートを保護する最も信頼できる方法は、コンクリート構造物が占める全容積を包み、この中で人工の加熱により適當な養生温度を維持し得る一時的の圍いを建造することである。これは極端な寒い季節に造らねばならなかつた限られた大いさの、大切な構造物に對して行われてきた。費用がかかるのでこのような方法は多くの場合經濟的ではない。

實施可能の代案はコンクリートを打込んだ型枠の周圍にキャンパス、合板、シートロツク、セロテツクス、シ

サル麻のクラフト及び他の防水性の覆いを建造し、養生の全期間、これらの覆いの内部に蒸気のユニット、ヒーター、生蒸気の噴出、蒸気パイプ、裸火或いはその他の加熱装置で適当な養生温度を維持することである。

偶然の特別に好ましい条件では、コンクリートを充分高い温度で打込み、この初期の熱にセメントの水和作用から発現する熱を加えて表面温度を凍結點までに降下させず、外界へ逸散する熱と充分均衡を取らしめることによって保護され得る。この方法は凍結の數度以内の気温に限定されることは明瞭である。又保護が準備されなければ新しく打つたコンクリートは温度の急激な降下があれば、その間に毀損され易いこともまた明らかである。次の節で指摘するように、湯を用いることはコンクリートが冷却する時に過多の龜裂を起す傾向がある。更にミキサから出る時に熱いコンクリートを用いることはウォーカビリティを大いに減じ急凝結する傾向を招來する。

2. 型枠の取外し、或いは構造物に載荷を許すために充分な強度をだすこと。

寒中コンクリートの施工方法は適当なコンクリートの強度をだすように段取りすべきである。第一に經濟的な型枠の轉用、第二にその構造物の上の部分の建造を許すこと。各々の場合に要求される強度は構造物のタイプによる。早期に型枠を取外し、構造物を早く使用する事の價値は寒中の余分の加熱及び保護の費用と均衡が取られなければならない。コンクリートの強度に對する養生温度の影響は1934年11月～12月のACI月刊誌から採つた圖1～5から知ることができて、これは便利である。圖のデータを考えるに當つて、この結果は $7.5 \times 15\text{cm}$ (3×6 吋)のコンクリート圓筒供試體の試験に基づいたものであることを心に留めておくべきである。このように、コンクリートの量は比較的少なく、このコンクリートを周囲の気温に一致させるに要する時間の要素は、現場の構造物がいかに断面は薄くてもこれに比較すれば、實際の場合に起るよりもつとずつと短かいのである。

早高強度セメントの使用は全般的の經濟の立場から考慮すべきである。早高強度セメントを用いる時には温度保護及び濕潤養生を維持しなければならない期間は前節で参照した圖に示すように減じてよい。

コンクリートの硬化に對する促進劑として鹽化カルシウム或いは他の化學藥劑を用いることは前節に述べた限度以下で經濟の立場から同様に考慮してもよい。しかしながら鹽化カルシウムをセメント重量の2%以上用いることは差控えるべきである。更に鹽化カルシウムはポルトランドセメント中のアルカリと或る種の容疑骨材との間の破壊的反應を激化する微候がある。硬化促進劑として鹽化カルシウムを用いることに對する良い討議はACIの212委員會の“コンクリートの混和物”に關する報

告の第1節に述べられている。この報告はACI誌、1944年11月、第41卷、73頁に登載されている。

濕練水の結水點を下げることによって凍結を全く防ぐ目的に鹽化カルシウム、普通の鹽或いは他の可溶性物質を用いることは許すべきではない。鹽化カルシウムは適当な養生及び凍結防止のための代用品として用いるべきではない。

3. 適当な養生状態の維持

適当な強度及び表面の硬さの進展を確かにするため、養生期間中すべての裸のコンクリートの表面に濕氣を充分に供給し、これを維持すべきである。

4. 養生期間中及び養生終了直後の急激な温度變化の限界

コンクリート體內における過大の温度變化或いは過大の温度差が龜裂を促し、構造物の強度及び耐久性に有害な影響を有することは衆知の事實である。これらの影響は型枠の取外し及び低い温度に對する保護を止める時期において、特に重要になる。このような時にはコンクリートの表面は急速に冷却剛化され、龜裂が入るかも知れない。表面の急激な冷却剛化に基づく龜裂の重大性は、セメントの水和作用の熱がコンクリートを打上げた初めの温度から 16.7°C (30°F)乃至 38.6°C (70°F)を上昇させるマスコンクリートにおいて最大である。梁、柱、壁體或いは他の60cm (2呎)以下の厚さのマスコンクリートでは周囲の空氣に熱が急速に發散して、これが高過ぎる内部温度の發現を妨げる。しかし破壊的な性質を有する表面温度の急激な降下はこんな薄い断面にも起り得る。

5. コンクリートの設計、或いは豫定している使用に合致した經濟の度合を得ること。

特別な工事に用いられるべき寒中コンクリート施工方法を決めるには、多くのコンクリート構造物は通常の建造作業或いは實驗室の試験期間で達し得る數週間或いは數カ月ではなく永年の耐用年限に對して設計されている事實を心に留めるべきである。若し構造物にその隅が凍害を受け、熱し過ぎて乾燥した箇所或いは龜裂が生じ、すべての保護、養生或いは不注意の監督の結果が表われたならば、28日圓筒供試體で満足な強度を得てもそれでは充分ではない。同様に、セメント或いは鹽化カルシウムを多量に用い過ぎた結果として早期強度を得られても、外見はよくても、若しコンクリートに後年惡質の龜裂が發生し或いは化學作用の結果として破壊的の内部膨脹を發達させるならば、何の役にも立たない。

しかし經驗によれば、寒中コンクリートの充分な保護の費用はそう多くを要しないことが判つた。構造物のタイプ及び外氣に晒す程度によつて、コンクリートの費用は夏の状態で打込んだと同様のコンクリートより10%迄

増加し得る。早期の凍結防止を省略すれば、コンクリートを早急に破壊しあるいは永久に弱める結果になるかも知れないから、温度が低下しないように充分保護し、適当な養生状態を監督することは寒中に建造したすべてのコンクリート構造物に非常に大切な要素であることは明らかである。

總 括

前の各節に寒中コンクリートの問題の性質が、作業をし得る推奨工法の基本を準備するため、簡単に示された。寒中コンクリートに関する文献は極めて多い。1930年以來の技術雑誌に登載された範囲は、次の選擇した参考書の表から明らかである。これには建設者、技術者及び仕様書の執筆者も附記してある。

建築、舗装及び 60cm (2 呎) 未満の厚さの構造部材のような薄い断面に対する最上の建設工法はセメントの水和作用の熱が要素であるダム及び大きな橋脚のようなマスコンクリートに対する最上の工法とは幾分異なるだろう。第1の場合には、薄い断面を凍結しないようにしてコンクリートを硬化せしめ適當に強度を得ることが問題である。第2の場合には、温度變化を無くし同時に隅及び晒らされている表面に局部的凍害を受けしめないようにするのが問題である。

どちらの場合にも豫期しない氣象の變動と丁寧な工事でさえ避け得られない作業上の僅かの不注意の施工を用いるための安全率が必要である。

これらのすべてを心に留めて、寒中コンクリートに対する2つの型の推奨工法、1つは建築、舗装及びその他の薄い断面、並に1つはマスコンクリートに対するものを調製した。

これらの推奨工法は寒中コンクリートのあらゆる場合に應ずる細かい仕様としてでなく、一般的の推奨工法として取扱うべきである。

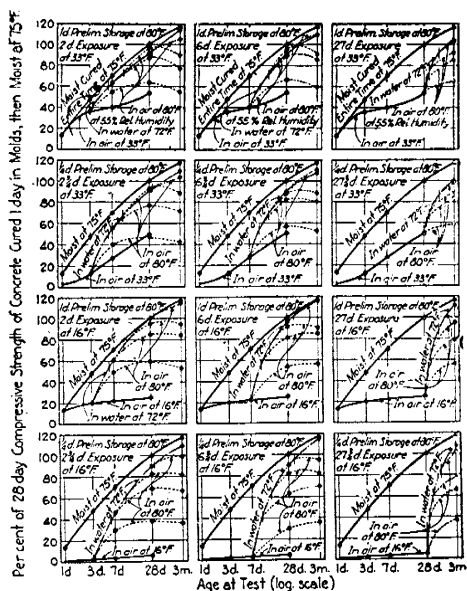


Fig. 1—Relative strength of concrete as influenced by warming both in water and in air after exposure to temperatures of 16 and 33 F—normal cement
From Timpa, A. G. and Withey, N. H., "Further Studies of Temperature Effects on Compressive Strength of Concrete", ACI JOURNAL, Nov.-Dec. 1934, Proc. V, 31, p. 165.

圖一 1. $-8.9^{\circ}\text{C}(16^{\circ}\text{F})$ 及び $0.6^{\circ}\text{C}(33^{\circ}\text{F})$ の温度に晒した後、水中及び空气中で暖めた場合の影響を示すコンクリートの強度比。—普通セメント (文献84)

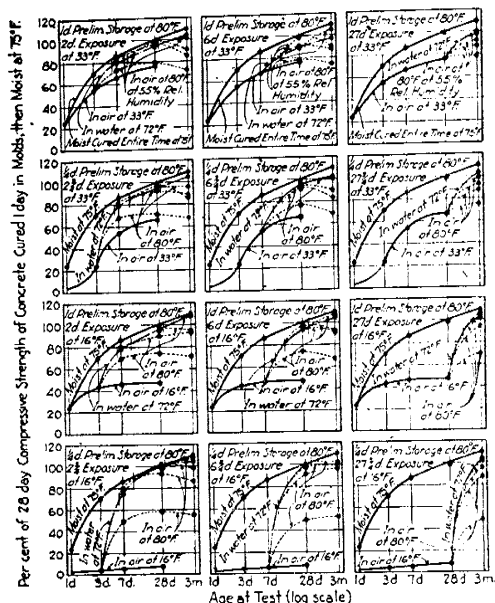


Fig. 2—Relative strength of concrete as influenced by warming both in water and in air after exposure to temperatures of 16 and 33 F—high early strength cement
From Timpa, A. G. and Withey, N. H., "Further Studies of Temperature Effects on Compressive Strength of Concrete", ACI JOURNAL, Nov.-Dec. 1934, Proc. V, 31, p. 165.

圖二 2. 同上。—早高強度セメント (文献84)

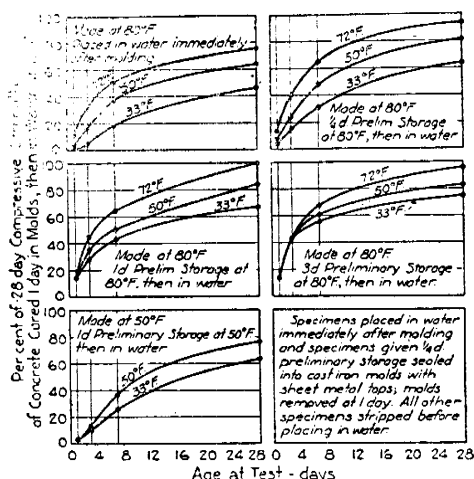
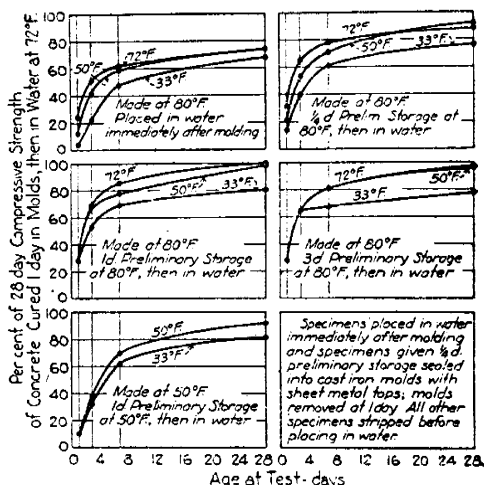


Fig. 3 (left)—Relative strength of concrete as influenced by temperature of storage water—normal cement

Fig. 4 (right)—Relative strength of concrete as influenced by temperature of storage water—high early strength cement

From Timms, A. G., and Wibbey, N. H. "Further Studies of Temperature Effects on Compressive Strength of Concrete", ACI JOURNAL, Nov-Dec, 1934, Proc. V, 31, p. 193.

圖一三・水槽中の水の温度の影響を示すコンクリートの強度比。一普通セメント（文献84）



圖一四・同上。一早高強度セメント（文献84）

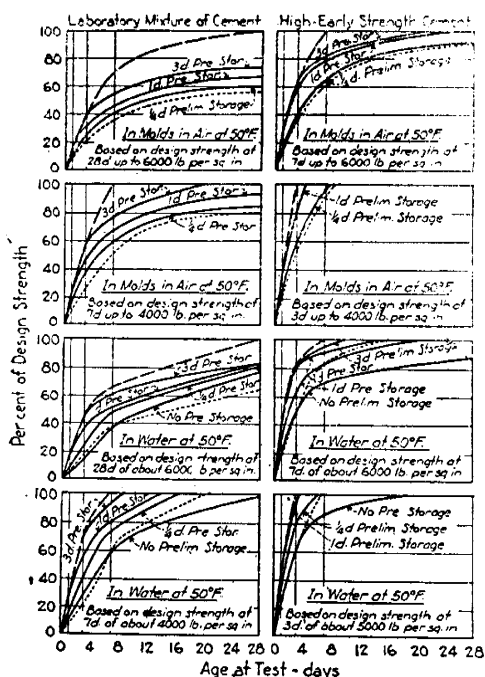


Fig. 5—Strengths at different ages for concrete stored in air or in water at 50 F expressed as percentages of design strengths for wet curing at 70 F

Dash lines for concrete given 1 day preliminary storage in air, then moist at 70 F (top 4 diagrams), or in water at 72 F (bottom 4 diagrams). Solid lines for concrete made and given preliminary storage in air at normal temperatures, then stored in air or water at 50 F. Dotted lines for concrete made and given 1 day preliminary storage in air at 50 F, then stored in air or water at 50 F.

圖一五・10°C(50°F)の空気中あるいは水中に貯蔵したコンクリートの異つた材齢における強度を、21.1°C

(70°F)で湿潤養生した場合の設計強度の%で表わしたものの。(文献84)

破線: 1日間空气中に預備的に貯蔵し、次に21.1°C(70°F)の湿氣中(上の4つの圖)あるいは22.2°C(72°F)の水中(下の4つの圖)に貯蔵したもの。

實線: 標準温度の空气中で製形し預備的に貯蔵した後、10°C(50°F)の空気中あるいは水中に貯蔵したコンクリートを示す。

點線: 10°C(50°F)の空气中で製形し1日間預備的に貯蔵し、その後10°C(50°F)の空气中あるいは水中に貯蔵したコンクリートを示す。

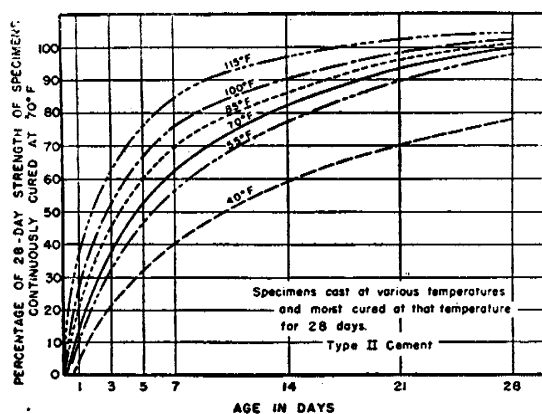


Figure 6—Effect of curing temperature on the compressive strength of concrete

圖一六・養生及び試験条件がコンクリートの壓縮強さに及ぼす影響。

H. J. Gilkey, Iowa State College, Ames, Iowa,
 "The Moist Curing of Concrete", Engineering
 News-Record, Vol. 119, No. 16, pp.630 to 633.

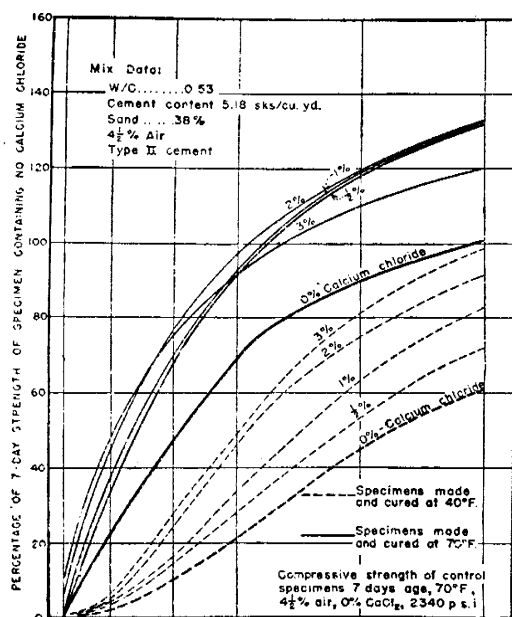


Figure 7—Addition of calcium chloride to the mix increases the strength of concrete at early ages

図一七 配合に鹽化カルシウムを加えた場合の初期強度の増進状況。

III アメリカ國務省開拓局の寒中コンクリートに關する仕様

1. 寒中に拂うべき諸注意

コンクリートは温度の低い時には常溫の時よりも強度の増進はずつと緩慢である。(圖一六參照) 局の仕様書には結氷する季節に打込むコンクリートは 10°C (50°F) 以上の温度で、セメントの重量の1%の鹽化カルシウムを混和することを規定している。又これは72時間以上は少くも 10°C (50°F) の温度を保ち、且つ凍結に對する保護の前に述べた濕潤養生期間〔I型(標準), II型(改良), あるいはV型(耐硫酸鹽)セメントを用いた場合は最少14日間, IV型(低熱)セメントあるいはII型セメントとポゾランとの混合物を用いた場合には21日間〕の終り迄繼續維持すべきことを規定している。これらの要求はコンクリートが初期の限界期間中凍結してひどく毀損しないように安全に防護し、水和作用と強度の増進が障礙されずに行われ保護期間中合理的に満足な度合迄伸展し得るような温度と湿度の状態を維持するのである。濕つた表面は濕球温度計が 0°C (32°F) に下る状態ならば乾球温度計

が充分 0°C (32°F) 以上であつても凍結し得ることは再び指摘される。デイヴィスダムでは 2.8°C (37°F) で強風が吹いた時、養生用の噴水から結氷を生じた。監督員はコンクリートを保護するために充分の段階が取られているか、保護の設備が必要に應じて調じられているかを見るべきである。有効な保護が不十分ならばコンクリート打は取り止めるべきである。

コンクリート打が開始する前にすべての氷、雪及び凍結は型枠の内部、鉄筋及び埋込みの部材から取除くべきである。これはキャンパスで覆つた内部に生蒸氣を噴出させることによつて最もよく目的を達せられる。コンクリートは決して凍結した地盤上に打込むべきではない。後に融解して地下の原因となるからである。基盤が、コンクリート打込み作業に先立つて充分準備された時、藥と防水布を覆つて保護すればよい。

薄い鉄筋コンクリート部材は橋脚、橋台あるいはダムの断面よりずつと充分の保護を要する。

隅角及び稜邊は最も損傷され易い。これらの部分を保護する方法を講ずればその他の部分には充分であらう。秋になつて次第に保護が必要になること及び用意した設備が充分かどうかは最も寒い期間において、外氣に晒される隅角及び稜邊のコンクリートの温度を取つて決定すべきである。表面積が體積に比して大きい場所には型枠、鉄筋及び埋込みの部分は結氷點以上の温度を維持していることが大切である。そうでなければコンクリートの熱はこれらに吸収され、平均温度は凍結點以下に降下する。これは型枠が氣密ならば勢に著しい。

コンクリートの外部に伸びている筋筋からは多量の熱が放散されると思われる。マツシブな構造物ではコンクリート内部の初期の熱はそう容易には放散せず、セメントの水和作用により發現する熱によつて増大される。しかしすぐに表面を保護することは他のものと同じくマツシブな構造物にも必要である。後になれば年費を少くしてもよい。

寒中保護の方法としてコンクリートを加熱することは、コンクリートが冷える時に有害な龜裂を生ぜしめる虞れがある。コンクリート體の色々な部分に余りに甚しい温度差を生ぜしめる諸種の條件は龜裂を發生せしめ、構造物の強度と耐久性に有害な影響を及ぼす。温度の下つてゐる時にもかまわずに型枠を取外したり、あるいは保護を中止すれば、表面は急速に冷却剛化してその結果龜裂が入ることがある。このためマスコンクリートの表面温度は24時間毎に 11.2°C (20°F) 以上の割合で降下させるべきではなく、薄い断面の表面温度は同時間毎に 22.3°C (40°F) 以上の割合で降下させるべきではない。表面の急冷却剛化によつて龜裂が起る可能性は水和作用の熱が内部温度を、コンクリートを打つた時の温度から

16.7°C (30°F) 乃至 38.6°C (70°F) 位上昇させるマスコンクリートにおいて最大である。断面が薄くて周囲の空気中に水和熱が急速に放散することは、運火の内部温度を妨げる。しかし表面における急激な温度変化はコンクリートを破壊させるような影響を及ぼす。

寒中保護の問題は安全な初めの温度で打込んだコンクリートから熱の放失を妨げ、必要とする熱をいくらかでも供給することなのである。木製の型枠を取外さずにつけたままにしておけば、これは凍結に近い温度には保護になる。しかし型枠をつけない表面及びもつと露出の場合の多い隅角や稜邊には、もつと保護を追加する必要がある。最も普通の保護方法は骨組に防水布あるいは他の物質を被せた囲いの中で加熱することである。このような囲いは温かい空気が循環するように充分の間を設けるべきであり、堅固で風の通らないようにすべきである。出入口はその数を最少限度に少くすべきで自動的に閉じるものがよい。少くも閉ち易いものなるべきである。熱は生蒸気、蒸気パイプに通した蒸気、裸火あるいは諸種の型のストーブで供給する。マスコンクリートに埋込む冷却水の管は一時的に蒸気を循環させるのに用いられたことがある。裸火及びストーブは操作が容易且つ安価で、小さな工事には便利であるが、しかし乾燥した熱気を出し、焰を吐き煙を出すので塵々汚れ、火災の危険を伴う不都合がある。

これらは火災による損害を出し、比較的小さな工事でもさえも蒸気養生以上の費用を要することも屢々ある。より大きな且つ集中化したダムとか発電所の建物、あるいは大きな水路構造物のような容貌の構造物には蒸気は、すべての物を考えれば、ストーブや裸火よりも最も高価ではない。

一般に温かい空気は冷却した空気よりもより多く湿気を含むから、寒中のコンクリートを保護する爲の乾燥した熱は、急速な乾燥を招く傾向がある。例えば 21.1°C (70°F) の空気は -1.1°C (30°F) の空気を含み得る量の 4 倍の湿気を保有し得る。その結果、-1.1°C (30°F) の空気が飽和しているとしても 21.1°C (70°F) に温められれば、これは速かにコンクリートから湿気を引出す。それ故、乾燥した熱を用いる時にはコンクリートには充分の湿気を供給することが大切である。生蒸気は熱と同時に湿気を含んでいるから特に都合がよい。しかし鑄つくかあるいはそうでなければ湿気が凝結して害を受け易い施設は充分保護すべきである。水平の表面は信頼出来る厚さ濕砂の層をおき、その上に藁あるいは乾燥した土を、端の方をいくらか厚くしてかければ屢々満足な養生が出来る。

戸外で普通の氣候の温度の場合よりも、結氷点の少し上の温度では乾燥が早くないとはいつても、コンクリー

トは凍結と同様に乾燥に対しても保護して養生することが必要である。事實、より低い温度では等しい結果を得るには、より長期の養生期間を要する。

封緘劑で養生したコンクリートは濕潤養生をしたコンクリートに必要とされていると同じ程度の養生をすべきである。乾燥した熱を用いると極端に濕分を少くし、そのため封緘劑を通して湿気の逸散を増加させる場所には空氣の濕度を増すこと、封緘劑をより多量に使用することあるいは封緘劑を塗布あるいは噴霧するに先立つて 1 日あるいはそれ以上の間濕潤養生することが必要である。早期の保護には生蒸気を用い、その上蒸気養生を最早必要としない段階になるまでは封緘劑は用いるべきでない。

寒中には鹽化カルシウム及び時にはセメント量を追加することは、養生及び保護の規定した期間を通じてコンクリートの強度を増進するために用いられる。寒い季節中これらを追加して用いることは普通の硬化の害を維持し、正規のスケジュール通り型枠の取外しを継続させる傾向がある。鹽化カルシウムの使用は、寒中に必要な保護の期間を短縮するかあるいは保護の型式を簡単にする目的では局の工事には許されない。

2. 湿潤劑の使用

硬化促進劑

局の規定では、コンクリートに硬化促進劑を使用することはその材料のタイプ、使用量及び使用する構造物の部分便所を指定した文書で承認した上で、許可される。硬化促進劑の量は所期の結果を生ずるに必要な分量に抑制されている。硬化促進劑を使用しても請負者はコンクリートの保護及び養生を規定した仕様の通り施工すべきであつて、その責任は決して輕くならない。

セメントの重量の 2% 以内の量を混練水に溶解した鹽化カルシウムは、型枠を早く取外すとか、アンカーボルトに早期に荷重を掛ける等のように、早期強度の増進を要せられる特別な場合に用いられる。セメント重量の 1% 量この混和劑を用いることは、凍結しないように保護する規定の期間中に、温度が比較的降下しそうな場合コンクリートがその後晒される凍結温度に安全に耐えられるよう、充分な強度の増進を確保する必要に迫られた處に必要とされる。コンクリートの早期強度に対する鹽化カルシウムの影響は圖一 7 に示す通りである。この鹽は、要求する結果を出す最少量を、その使用に關する承認に伴つた限度と教範に嚴密に従つて用いるべきである。鹽化カルシウムを用いるには混練水に完全に溶解せしめ、この溶液をバッチ全體に均等に分布させることが大切である。鹽化カルシウムを用いることは、まだ充分よく判つてはいないけれども、セメントの凝結の複雑な反應に好ましくないと想像される變化を來すことは明ら

かである。しかし知り得る範囲では、限定した量だけを用いた時には一つの例外を除いては、これまで好ましからぬ結果はなかつた。この例外は鹽化カルシウムを用いた場合には、高アルカリセメントと反應性の骨材との間の反應を促進することは明らかである。この硬化促進劑を用いることは、又スランプを減少し、凝結を促進するから、取扱ひと打込み作業を手早くするような特別な注意が必要になつて来る。打込みの時の層の厚さを相當減じなければ、肌離れした打込みを生ずる處がある。

鐵筋及び埋設物

局の經驗によれば、上の條件でコンクリートに鹽化カルシウムを用いた時鐵筋の腐蝕について有害ないかなる影響をも招いたという例はない。

コンクリートの凍害等の對策と修理

最近コンクリート構造物の侵蝕・龜裂等による被害とくに凍害がめだつてきた。米國に於て最近10年間に磨く用いられるようになった工法の需要は次のとおりである。

米國では新造コンクリート構造物の凍害防止には、空氣連行劑の使用が絶對的とされており、わが國でも漸次普及してきた。一方修理にはイントルーション・ブリパクト工法が十數年來用いられ非常に發達している。これはトンネル工の漏水、橋臺・橋脚、コンクリート水中杭、ダム表面等の龜裂、侵蝕剝離部分の補修から橋梁縱桁のコンクリート被覆補強、さては軟弱地盤の固化法にまで伸展してきた。この工法は要するに、セメントモルタルのグラウトであるが、從來の儘では、セメント粒子が粗く分離し、毛細龜裂に入らないし、また根本的には、セメント糊は凝結硬化の際に收縮するので、古いコンクリートと密着しないことが最大缺陷であつた。この方法によればエイドとアルフェシルと呼ぶ二種の特殊材料を加え、セメント粒子の分離を防ぐとともに、體積を増し空間を完全に充滿させる。又斷面の相當大きな被覆には、まず型枠を固く取りつけて粗骨材を滿たし、その空隙にセメントグラウトを行う。これが理想的にゆけば普通工法によるコンクリートでは混練、搗固めの困難からウオーカブルなコンクリートをうるため、強度上必要とする以上に、セメント量を加えねばならない不利の點が改善され、理想の配合設計ができるのである。

シカゴの西南16哩ジョリエットの、サンタフェ鐵道の橋梁、橋臺、擁壁の補強と龜裂修理の施工狀況を簡単に説明したい。

これら構造物は25年程前に造られ、擁壁は高さ3~4米の盛土に對する土留で、厚さ30~80㎝、コンクリート表面は幾分粗いが、左程缺點がないのに水平の施工目地に幅5~6㎝の大きな水平龜裂が入つており、隣接の橋臺は厚さ75~100㎝の胸壁つて根が完全に剪斷され、更に胸壁の橋桁側の垂直面に沿い、橋臺軀體に垂直龜裂が深く通り見るも無慘な様子であつた。これに對し、龜裂には勿論

3. 浸透水中における修理

浸透水のある箇所あるいは流水中でコンクリートの修理は企てるべきではない。水を外らすことが出来ない場合には、急硬化モルタルで水の出口を塞ぎ修理するには充分の長期間流水を止めて、初めて可能である。このような漏水を塞ぐためのモルタルは、容積でセメント1、砂1乃至2の配合なるべきである。混練水にセメントの重量の30~50%の鹽化カルシウムか、あるいは同様にして約5%のソーダ灰を加えれば、このモルタルは漏水口に堅く押えていれば數分間以内に凝結する。凝結の時間は混練水溶液の濃度によつて決定される。

(以上28.1.2)

これを挾んで壁厚 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$ の深さ、間隔45㎝位に、ジャツクハンマーで徑50㎝程の孔をあけ（このハンマーは可變式で重油燃料の發動機を動力とするコンプレツサーで運轉する）孔毎にグラウトパイプのノズル（内徑1 $\frac{1}{4}$ 吋）を嵌入させてグラウトする。米國ではこの種ジャツクハンマーが盛んに用いられ、舗裂コンクリートの破壊、煉瓦やコンクリート造建物の除去等にも市中を持廻つてゐる。これによると鶴嘴をふるうに體裁なく、少勞力で能率をあげる。

グラウトミキサーは徑27吋、深29吋、堅型ドラム内に垂直軸の廻りに直轉する羽根がある。ミキサーは2個で交互に混練と填充に用いる。水・アルフェシル・エイド・セメント・砂の順で投入、5分間程混練し下方のコツクを開きグラウトポンプに送る。グラウトポンプはシンプレツクス空氣ポンプで、1分間160回ストローク・ポンプとノズルの距離50米位。グラウト乳の配合は、セメント85疋、エイド34疋、アルフェシル1疋、水40疋で砂は3切である。

次にこの鐵道橋は五線の幅員あり、3徑間、兩側徑間各55米、中央徑間11米、桁下道路上のクリアランスの関係で、高さ2.5呎のI桁45本、その心心間隔は、1.33呎が40、2呎が5で、このI型桁間の空間を鐵筋コンクリートで填充補強するのであるが、鐵桁上面に鐵板張り砂利道床を支えているので、上方からコンクリートを施工できず、又列車を通しながら施工しようとするのである。

まず桁間の下側に徑1吋の鐵筋3本を入れ、下側から型枠を取りつける。この堰板に數箇所孔をあけ、そこから充分精撰した砂利を壓搾空氣で押入れて塞ぐ。つぎに1~1.5米間隔にノズルだけ入る孔をあけ、ここからグラウトするのである。型枠は約1週間後に取外す。元來このモルタルは硬化遅く、かつ硬化時まで彈性的なのが特徴で、このコンクリートの強度も、普通コンクリートに劣らず耐久性もあるので、米國鐵道協會や開拓局でも實驗し優秀性を認めており、本工法は専門の特殊會社が一手に實施している。

以上