

気象とコンクリート強度 (II)

正員 高橋 芳夫*

1. 12組の実験例 (圖-2~圖-13 参照)

茲に夫々施工季節を異にする 12 組の実験例を掲げた。對應する標準養生の曲線はセメントの性状を示すものであり、温度曲線は養生期間中の外気温の變化を示すものである。

之等の試験は次のやうな條件の下に行はれた。

イ). 供試體。供試體は 15 cm ϕ \times 30 cm の標準供試體で、製作法は土木學會の標準法と同じである。1組の試験筒数は屋外養生のもの 5 筒、標準養生のもの 3 筒とし、150 t アムスラー型試験機により耐圧強度を調べた。

ロ). セメント。上磯淺野セメント工場より毎月送附される新製品を用いた。配合量はコンクリート 1m³ に付き 330 kg である。

ハ). 骨材。細組骨材共に附近河川産のものを用いた。骨材の貯蔵は氣乾状態にして火氣の無い倉庫に保存されたが、冬期には使用前凍結しない部屋に移された。

ニ). 水。附近河川の水をそのまま使用したので水温は 0.5 $^{\circ}$ C ~ 19 $^{\circ}$ C の間に變化した。水量はセメント重量の 60% に一定したが、スラムプ試験の結果は 9 cm 乃至 13 cm 内外のものが多く、可成廣範圍に變化した。

施工軟度は気温の低い時の方がよいと云ふ定説の通り此試験でもその傾向が認められた。スラムプの測定は開放した部屋で行ひ、撒水其他特別の處置はとつて居ない。

ホ). 養生。供試験は 24 時間作業室内に靜置し、脱型した後、1 部は +15 $^{\circ}$ C ~ +18 $^{\circ}$ C の恒温水槽に、他は屋外の露臺に移された。

屋外養生のものは 7 日間藪を掛けて撒水した。しかし、12 月の 2 組、及び 1 月、2 月の供試體は凍害を防止する爲、特別の處置がとられた。即ち 1 月 2 月の組は製作直後より 24 時間は +15 $^{\circ}$ C の濕潤空气中で養生され、それから標準養生のものは恒温水槽に、其他は更に +2 $^{\circ}$ C ~ +5 $^{\circ}$ C の地下室で 48 時間養生された

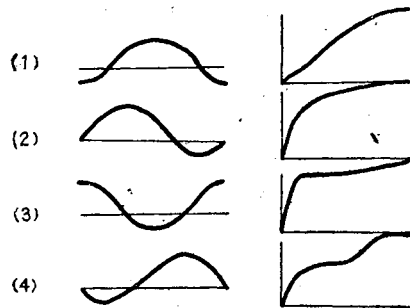
後屋外に移された。又 12 月の 2 組は +15 $^{\circ}$ C の濕潤空气中だけで 96 時間 (4 晝夜) 養生された後屋外に移された。冬期間屋外露臺の雪は隨時拂ひ除かれた。

2. 施工季節と強度増進曲線の特質

前掲 12 組の實例から其強度増進型を要約して見る。吾々はコンクリートの強度増進が温度の上昇につれて顯著になることを知つて居るので、一つの気温圖があれば之に對應する強度増進曲線は概念的に豫想し得るやうに思ふけれども、材齡による強度増進率の差異を考へ合せると、實際上之を描くことは至難であると思はれる。

今、 $\oplus\ominus$ の 2 つの山からなる年間気温圖を考へると圖-14 に見るやうに、其代表的な配置は (1) ~ (4) の 4 種となり、之等の気温圖に關聯して夫々對應圖のやうに 4 種の強度増進曲線型を描くことが出来る。

圖-14. 気温配置と強度増進曲線の特性



(1) は施工季節が眞冬の場合で、初期養生が不充分であつた場合は實線のやうに、又初期養生が稍順調に行はれた場合は破線のやうに夫々大小 2 つの山を積み重ねるが本質的に同じものである。

(2) は施工季節が早春の場合で、大略標準型に近いが、初めは稍緩傾斜である代りに、後期は稍急斜である。

(3) は眞夏の場合で、初めは急上昇しそれから水平に近くなり、最後は少しく尻上りの傾向がある。

(4) は晩秋の場合で、人工養生をしない場合は初めは緩傾斜で昇り標準型に似た 2 つの山を作るが、之も本質的には (1) と同一型である。

之等の中は、(1)、(4) いづれも寒冷期に施工される

* 北海道大學助教授

場合であるが、それは混合後間も無く凍結するやうなことが無く、天然に又は人工的に凍結しない気温の中で或程度の初期強度を發生してから嚴寒に曝される場合であることを前提とする。

又凍害をうけない程度に強化したコンクリートが完全に凍結して居る最中にも強度の増進をなし得るか否かは分らないが、經驗によれば低温の場合は勿論、北海道のやうな寒度では嚴寒期に於ても幾分の強度増進が認められ特に初期強度の發生が不充分であつたもの程その傾向が強いやうである。實際上嚴寒期でも日中気温は可成上昇し、又日照の影響もあるので、完全凍結の状態が長期間持續するか否かは分らない。

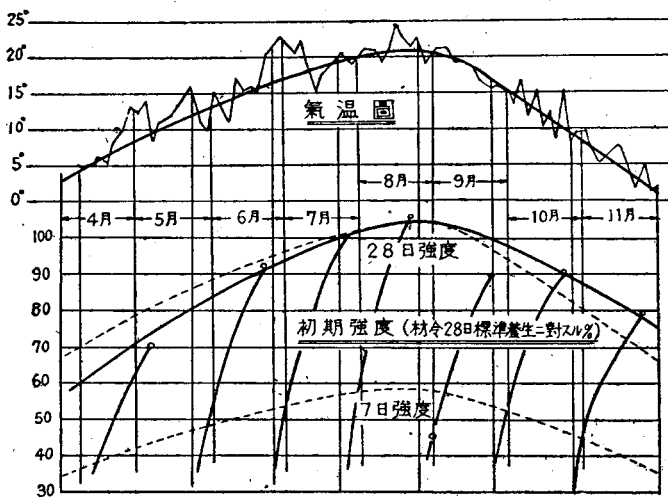
之等の強度増進曲線の中、吾々が普通見なれて居る型態は、(2)の標準型である。其他の型態は寒冷による強度増進の抑制と、その抑制の仕方によつて夫々異なる形状を呈する回復經過によつて標準型が著しく歪められたもので、從來餘り知られて居ない型であると思ふ。

3. 施工季節と初期強度との關係

初期強度は構造物の型枠除去に、又使用開始に、直接關係するものであるから、吾々にとつて最大の關心事である。今、前記 12 の實例、及び之と關聯して實施した參考試験から、検討を加へるが先づ凍結の影響をうけ人工養生をした場合と、其他の場合とは之を區別して考へる必要がある。

先づ自然の気温の中だけで養生された4~10月の組

圖—15. 施工季と初期強度の關係



を比較して見る爲に圖—15を提示する。之には養生期間の溫度變化を示す気温圖と、之に對應する7日及び28日強度を記入して見た。

此圖は溫度 2°C と強度 1% とを同じ尺度で描いたものであるが、28日強度を結んだ線と、気温の傾向線とは大凡平行することが分る。しかし、気温平均線との平行線を28日強度に重ねて破線で描いて見ると、之等兩者は正しく平行して居るものではなく、春から夏までは強度線の方が気温線よりも下り、之に反して夏から秋にかけては、強度線の方が気温線よりも上ることが認められる。之は何かの意味を有してゐるのであるか、又たまたまセメントの性質や實驗の特殊事情によつてさうなつたかは俄に斷定することは出来ないが、28日間の初期に於て高温であるか、後期に於て高温であるかによつて多少の差が生ずるものとすれば、それは此圖と同じやうな傾向を示す筈である。ともあれこのやうな結果が更に多くの試験により確認することが出来れば吾々は其地方の気温の傾向線圖を少しく修正することによつて、春秋各季節に施工されたコンクリートに就いて其28日強の概略を豫知することが出来る。即ち其土地の気温線を春の 5° の位置に於ては約 75% 下げ、秋の 5° の位置では約 45% 上げて2點を定め、之を頂點と結んで修正し、又気温 20° の位置を 105% と定め、溫度 2° の目盛を標準養生強度の 1% 目盛に訂正すれば出来る。

しかし7日強度の方は、此試験に關する限り28日強度のやうに規則的に排列されて居ない。凡そ溫度に敏感な7日強度を推定するには更に詳細な気温圖を必要とするのかも知れない。只この試験の結果では、7日強度の28日強度に對する割合は50~55%の間にあるものが多いことが分る。

4. 後期強度

28日以後の後期強度は勿論セメントの性質により相當の差異はあるけれども、大體の傾向としては、

- 1). 28日以後の溫度が益々上昇するか、次第に下向するか。
 - 2). 初期強度の發現がどの程度に出来て居るか。
- の2つの條件によつて夫々異つた方向をとる。

イ). 其後の温度が上昇過程の場合は初期強度の發現が不完全なもの程著しく昇る。

この場合その上昇曲線は標準養生の型の如く彎曲するか、初期強度の低位のものは始め急上昇し、一定限度に達してから彎曲する。即ち2月から7月頃迄のコンクリートは、次の冬の來る前に極限值(365日強度に對する)に近い強度が少くとも標準養生28日強度以上に達して居り、次の冬の寒氣により強度増進曲線は變形しない。

ロ). 其後の温度が下降温、又は凍結温の持續である場合は、一般に強度の増進は次第に微弱になり、或は殆ど停止する。

但し初期強度の發生が甚しく停滞した場合のみ初期強度の繼續的發生現象が見られる。

このやうに低温で抑制された強度は温度の上昇により恢復することが可能であるけれども、初めに適温で充分に發達したものと比較すると、所定強度に達するには極めて長期間を要するのである。

例へば1月、2月、4月のコンクリートは夫々セメントの性質が近似したものであるが、標準養生28日強度に達するに要した期間は、表一1の如し。而して6、7月頃のコンクリートは28~40日間で其強度に達し得るのである。

表一1.

月 別	28日強度に達した期間	氣温 0°C 以上の期間
1月(下旬)	230日(9月上旬)	190日
2月()	165日(8月中旬)	158
4月(中旬)	100日(7月中旬)	100

5. 365日強度の問題

初期に於て又は其後に於て低温の影響を受けたコンクリートは、一時その爲に強度の發現が抑制されるが、氣温の恢復によつて抑制された量が再び發現され得ることは、以上の實例によつて明かであるが、總體の経過温度が大略等しい一週年目の強度に於て、どのやうな差異を生ずるかは興味深い問題である。之を嚴密に比較するには、同質のセメントによることが必要である。この試験に於ても夫々近似した組向志を比較せねばならないので、夫々の標準養生強度を調べて見ると次のやうな近似性が認められた。

即ち、28日強度では、1月、2月、4月、5月(17)、7月、12月(下)等は稍早強性で240 kg/cm²内外を示し其他のものは170 kg/cm²内外であつた。

従來、一般に初期に於て低温の影響をうけ28日強度の低かつたコンクリートは、初期に於て高温で養生され高い28日強度を得たコンクリートに比較すれば、其強度差は永久に消滅しないだらうと考へられて居たが、この實驗値は之に對し有力な反證を呈示して居る。

即ち此實驗では高温で急激に硬化したコンクリートは、其後の強度發生が比較的微量であるのに反し、低温で強度の發生の緩慢なものは長期に亙り強度の増進を續け、遂には前者に到達し、又は凌駕することが出来るやうに見えるのである。

之はコンクリートの硬化、即ちセメントの化學反應の總量には一定の量があり、其化學反應の完結に要する時間は温度湿度によつて長短を生じ、又其化合物の成長發達には長時間を與へる方が一層良いことが暗示される。

この觀點より見ると現在の標準養生の温度よりも遙かに低い温度で長期に亙り養生されたコンクリートは、遂には標準養生の強度よりも高くなり得る可能性がある。但し、この事實は現場の構造物を一日も早く利用しやうとする實際上のコンクリート強度に對する要求から見る時は何等價値あるものではない。

6. 積算温度によるコンクリート強度の表現

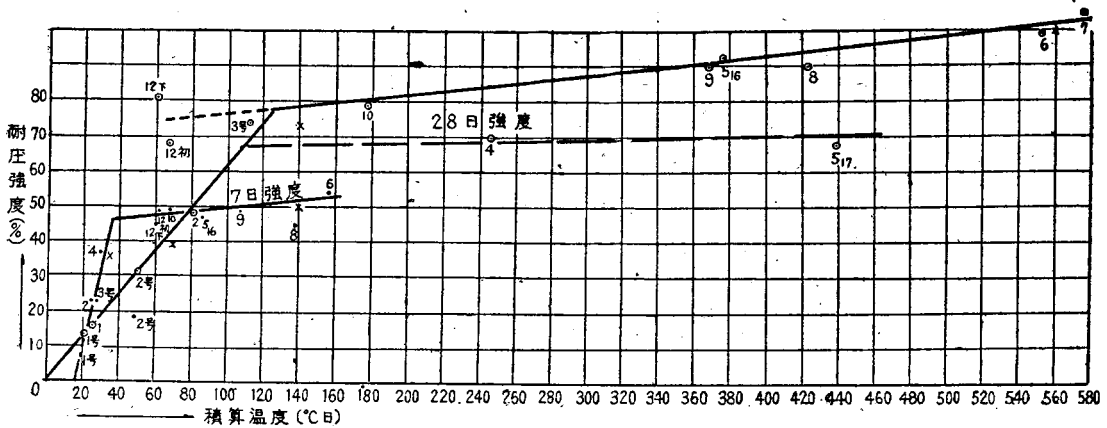
普通コンクリートの強度は、單なる材齡との關係に於て表現されるのが慣はしであるが、前記のやうに其強度は温度によつて強く影響されるものであるから、温度を加味した材齡をとることが尙一層合理的であると思はれる。

茲に其一例として、一日の平均養生温度(外氣温)を加へ合せたものを、假に積算温度と名付け、是を以て温度を加味した材齡と考へ前記の實驗値を整理して見る。

圖一16は初期強度と積算温度の關係を示したものであるが、之によれば7日強度、28日強度は大略特定の線上に集約されることが分る。之は一部 Mc Danielの曲線と近似したものであるけれども、積算温度の少い部分では非常な相違を示してゐる。

即ち之では安全養生温度の限界點とも稱し得べき點の存在が認められ、7日強度に對して積算温度40(度、日)、28日強度に對して130(度、日)が大約之に相當する。

圖-16. 初期強度と積算温度の關係



此積算温度は夫々7日、28日間の平均温度に直すと、5.7 (°C) 及び4.6 (°C) となり、所謂、コンクリートに対する低温警戒温度 4~5°C と大略一致する。そして此限界點に満たぬ場合は、強度は積算温度の減少と共に著しく低下するが、之と反對に限界點を超過して温度を高めても強度の増加率は比較的緩徐であることが分る。之は春秋の低温季に其保温設備の選擇に腐心する現場技術者に一つの指針を與へるものである。

又、コンクリートの強度増進曲線は、普通其横軸に單なる材齡にとられて居るが、之よりも積算温度で表現する方が一層適切であるだらうと云ふことも當然考へられる。此場合、積算温度の算定に、零度以下の部分を如何に扱ふかと云ふことが重要な問題となる。今假に凍結中にはコンクリートの強度増進は無いものと考へ、積算温度に零度以下の部分を加

表-2.

記號	7日		28日	
	積算温度	強度	積算温度	強度
1月	-	-	24	16
2月	2.5	23	82	48
4月	3.0	37	246	70
5月17	-	-	439	68
5月16	8.8	47	372	92
6月	15.6	54	553	99
7月	-	-	577	105
8月	13.8	45	522	89
9月	10.8	49	369	90
10月	6.9	49	178	79
12月初	6.2	49	68	68
12月1	6.1	45	61	81
1号	2.0	8	22	14
2号	5.0	19	50	31
3号	2.8	23	112	74

算しないものとして、2,3の例を圖示して見る。

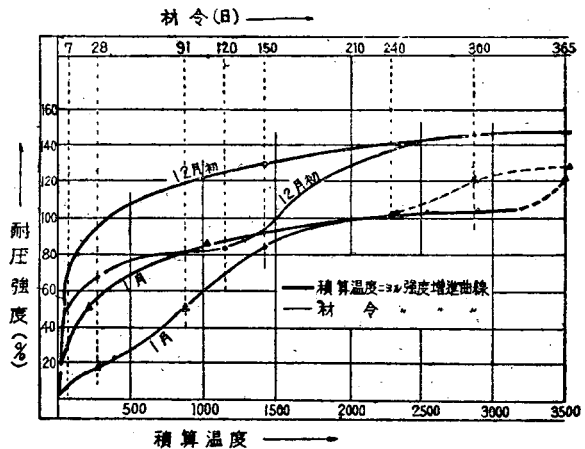
此問題に就いては興味を中心が二つに分れる。即ち一方は積算温度を使用することによつて、寒冷の影響を蒙つた不齊な強度増進曲線 (前例1月、12月のやう

な) が矯正されるのではないかと云ふこと、次には同一種類のコンクリートは製作時期の如何に關らず同一型の強度増進曲線によつて表現されるのではないかと云ふことの2點である。

圖-17では1月、12月初の不整曲線を描き直して見た。即ち圖に明かなやうに積算温度による方が、材齡によるよりも著しく標準養生に近似した曲線に改善されることが分る。

又、圖-18は標準養生の強度増進率が略等しいコンクリートに就いて、現場養生のコンクリート強度を積算温度に關聯して圖示して見た。之も亦材齡による場合よりも遙かに近接した曲線内に集約し得ることが分る。

圖-17.



従つてコンクリートの強度増進曲線の表現には單なる材齡によるよりも、積算温度による方が適切であり、かくすることによりコンクリート製作時期(養生温度)の如何に關らず其強度は標準養生の強度に對して或種の關係を保つことになるかと考へられる。

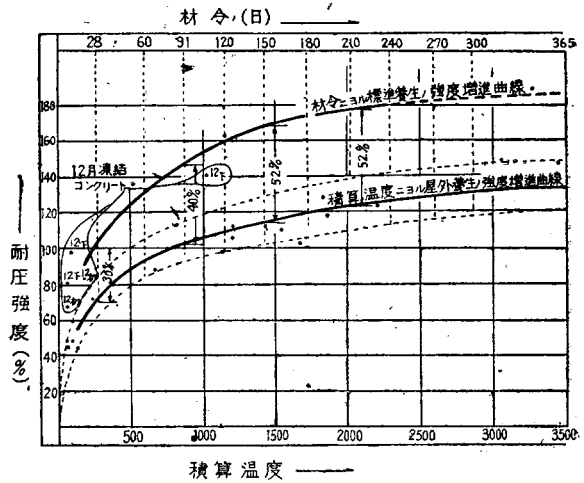
即ち屋外養生の材齡は一週年の積算温度に對する其材齡の積算温度の割合より算出され、之によつて強度増進曲線が描かれる時、それは標準養生の曲線と大略並行する。而して屋外養生の平均温度は標準養生より温度が低く、(この例に於ては約 9.5°C) 又湿度の合も適當でないで、そこに一定の差を生じ、此差はセメントの品質により 40~50% の如く變化するものと解されるのである。

只茲に若齡の中に長い凍結に曝された場合の強度は 圖-18 に見るやうに尙矯正の域外に逸脱する。之は凍結期間中に強度の増進を見た他の多くの例に於て共通した缺陷であり、直接的には積算温度のとり方の妥當で無いこと、間接的には温度や強度の測定誤差等を含む多くの原因に基くものであらう。

むすび 此試験ではコンクリート工學に貢獻するやうな新しい事實は何も發見されて居らず、凡ての例は先輩の諸説を再確認したに過ぎないものであるけれども、屋外養生、特に寒冷地のコンクリート強度を種々な角度から吟味して見た。

主なる興味は、寒冷地に於ける強度増進曲線の特異

圖-18.



な型態や、温度と強度との密接な關係、並びに強度の表現に積算温度を用ゐることの妥當性等を吟味したことであつた。

特に重要と考へられた凍結寒冷の影響に就いては、この不備な試験結果からは何も主張することは出来ないが、寒冷に對する現場技術者の過大な恐怖心を除去する爲に不完全な養生(現場に於て往々發生し得るやうな)に由つて起るべき結果に就いて 2, 3 の検討が行はれ、其被害の發現及び被害の程度等に就いて一聯の實驗値を示した。一完一

(昭. 19. 5. 8. 受付)

土木工學叢書の發刊

當會に於ては今回土木工學各部門の參考書として土木工學叢書を發刊することになつた。内容は高等専門教育を受けた技術者及び大學々生の參考に供し得る程度である。體裁は菊版約 350 頁で全卷 37 冊だが分賣もすることになつてゐる。題目と著者は次のとおり。

工業數學 雨宮綾夫、應用力學 岡本舜三、土質力學 最上武雄、松尾春雄 眞井耕造 福岡正巳、流體力學 水間仁、測量 桑原彌壽雄 高島政信、土木材料 青木楠男、コンクリート及鐵筋コンクリート 吉田徳次郎、熔接工學 仲威雄 奥村敏恵、施工法その1 架橋法 猪瀬寧雄、その2 橋梁製作法 田中五郎、その3 コンクリート施工法 吉田徳次郎、その4 土工 山本三郎、土木機械 尾之内由紀夫、木構造 福田武雄、橋梁 田中豊 平井教、鐵筋コンクリート橋 横道英雄、可動橋 安宅勝 友永和夫、基礎工學 星埜和、鐵道線路 岡田信次、鐵道停車場 岡田信次、特殊鐵道 沼田政矩、トンネル工學 加納俊二 村山朔郎、水文學 石原藤次郎、河川工學 安藝敏一、砂防 杉本培吉、港灣工學 柳澤米吉、道路工學 金子証、發電水力工學 鶴岡孝造、堰堤工學 伊藤剛、上水道 廣瀬孝六郎、下水道 杉戸清、埋立干拓 岡部三郎、都市計畫 松井達夫、交通政策 岡田信次、水政論 安藝敏一、地震學及地質學 表俊一郎、金井清 田中治雄、氣象學 荒川秀俊、日本土木史 平山復二郎 以上。

尙頒布希望者は申込金 300 圓と共に當會土木工學叢書係迄申込まれたい。