

マグネシヤコンクリートに関する研究 (I)

准會員 丸 安 隆 和*

要 旨 従來マグネシヤセメントは主としてモルタルとしてのみ使用されて來たのであるが、この優秀な諸性質がコンクリートとして使用された場合如何になるかと言ふ問題を解決する爲、先づ、その結合材たるマグネシヤ、鹽化苦土及水の配合比がその早期強度に及ぼす影響について實驗を行つた。その實驗結果をここに取纏め、第 1 報としたものである。

第 1 章 總 説

こゝでマグネシヤコンクリートと言ふのは、その名の如くマグネシヤを主成分とし、これに溶液となした鹽化マグネシウムを加へて結合材となしたコンクリートを言ふのであつて、従來、マグネシヤセメントとして吾が國に於ても一部使用されて來たものであるがその對象は主としてモルタルとしてであつて、ごく極限された使用範圍しか持たず、諸種の研究¹⁾も亦、化學的な組成の問題或はモルタルを對象とする問題にのみとまつてゐたのである。然るに、マグネシヤセメントは極めて優秀な諸性質を有するのであつて、^{2, 3} その缺點とされてゐる點を研究と努力によつて補つて行くならば、ポルトランドセメントを用ひたコンクリートではどうしても達し得られない様な特徴も兼備へた土木材料となり、戦時下土木工事の材料として充分その一翼を擔ひ得るに到るであらうと信ずる次第である。尙、現にドイツやソ聯等に於て廣く使用され優秀な成績を収めてゐると言ふ事を聞くにつけ、その感を一層深くするのである。

概、マグネシヤセメントは、其の他のセメントと異つてゐる主なる點は既に周知の如く、他のセメントは其の主成分が珪酸、礬土及び石灰とからなり、その水硬性が珪酸石灰鹽と礬土石灰鹽とによつてゐるのであるが、本セメントは之とは全く異り、マグネシヤ (MgO) と鹽化マグネシウム (MgCl₂) (硫酸マグネシウムを時に必要に應じて加へる事もある。) がその主成分である事である。然して、硬化して出來たものが一種の酸鹽化合物即ちオキシクロライドから成り、氣硬性である事である。

マグネシヤセメント、従つてこれによつて作られたモルタル及びコンクリートは、諸種の條件によつて左

右されるものであり、例へば、原鐵石マグネサイトの燒成溫度、マグネシヤ、鹽化マグネシウム及水の配合比、MgO の粉末度、養生溫度等によつてその性質が異なるが、順次之等の問題を研究し、土木工學的な性質を探究しようと思ふ。本籍に於ては先づ苦汁の MgO に對する比率即ち苦汁の濃度とその分量によつて、其の最も重要な性質の 1 つである早期強度が如何に變るかについて實驗を行つたので、其の實驗結果につき報告する事にする。

尙、諸種の文獻及著者の實驗結果から、マグネシヤコンクリートのもつ特色と思はれる點を摘録すれば次の如くである。

1. 極めて早強性であつて、配合や養生法を普通の状態として、1 日強度を 200 kg/cm² 以上にする事は容易である。

2. 引張強度又は抗折強度が極めて大であつて、軟弱モルタル試験法による抗折力が、100 kg/cm² 以上に達し得る事もごく簡單である。従つて、耐壓強度の大なりと共に、諸種の工作物の断面を相當に減じ得る事となり床等に利用した例から見て、伸縮縫目の間隔を相當大にしても龜裂の起る事が少い。

3. セメント糊の被覆力が極めて大であつて、相當貧配合の時にも骨材を充分に被覆し強度を維持する事が出来る。

4. 混和液として苦汁を使用する事は、一面このコンクリートの一大缺點であるが、他面苦汁を使用する爲にポルトランドセメントの施工限界よりも更に低温に於ても充分硬化作用が可能であり、寒中コンクリートの工事に有利である。

5. 普通のコンクリートに比べて弾性係数が大である。實測の結果については後刻發表の豫定である。

6. 出來上り面が極めて平滑であつて、相當貧配合の時にも骨材を充分被覆し、表面の硬度も大きい。尙出來上り面が白色乃至淡白色であつて、顔料、レーキ等によ

* 工學士 京城帝大助教授

(1) 後出文獻參照

つて任意に着色出来、偽装等に對して有利であると思はれる。

以上の如く、マグネシヤコンクリートは諸種の特徴は有するのであるが、反面、耐水性の乏しい事、苦汁の利用を必要とする事等の缺點もあり、此等については尙一層の研究の必要性がある譯で、著者は、此等の點につき微力を盡すと共に、マグネシヤコンクリートの諸性質の探究をせんものとしてゐるのであつて、諸先輩方々からの御指導を切に願ひする次第である。

本研究を行ふに當つて常に絶大の御教示と御援助を賜つた當學部土木教授安宅教授、應用化學教室の村上、藤岡、向井の各教授、日本マグネサイト化學工業株式會社、朝鮮武田藥品工業株式會社朱安工場の各位に對し深甚の謝意を表する次第である。

第 2 章 原料について

本セメントの主要材料は、マグネシヤ (MgO) と鹽化マグネシウム又は硫酸マグネシウム ($MgCl_2$ 又は $MgSO_4$) であるが、其の原料として前者は炭酸苦土鑛石 (マグネサイト) に、後者は苦汁に仰ぐ事になるのであるが、此等の原料について一瞥して見よう。

1. マグネサイト (菱苦土鑛)

炭酸苦土鑛石は天然に菱苦土鑛として産するのであるが、世界中にこの菱苦土鑛の 3 つの大きな鑛區がある。その 1 は朝鮮、その 2 は滿洲の大石橋附近、その 3 はオーストリーであつて、吾が大東亞圈内に世界全産額の大半を埋藏し、殆んど無盡蔵であると言はれてゐるのであるが、更に其の品質の點に於ても、世界の 1, 2 を争ふ程であり、その状況を一覽にすれば表-1 の如くである。

要するに、マグネサイトの埋藏量は吾が國に於ては極めて豊富であつて、特に朝鮮咸鏡南道端川郡の如きは、最近の調査⁽²⁾によれば實に 20 億トンにも達すると言はれてゐるのである。

而して、このマグネサイトは耐火物としても極めて重要な役割を果してゐるのであつて、現在、日本及滿洲の産出高の大部分がこの目的に使用されてゐた様である。世界の多産出國であるソ聯やドイツも勿論この方面の使用も相當大なるものがあるだらうが、輕燒マグネシヤとして、セメント材料としても極めて重要な役割を果してゐる事が想像されるのである。勿論、今

表-1.

(朝鮮鑛業會誌 vol. 20, 昭. 13. 5. による)

國 別	産 地	推定埋藏量 (單位萬トン)
日 本	朝鮮咸鏡北道吉州郡	330
"	朝鮮咸鏡南道端川郡	400 000
滿 洲	大石橋、海城附近	500 000
支 那	山東省粉子山 「他	300
ア メ リ カ	カリホルニア州其の	400
印 度	セレム地方	1 000
オーストリー	チロル州	12 000
ソ 聯 邦	サトカ地方	1 000
オーストラリヤ	ビュロング地方	100

までは色々の難點は持つてゐたが、此の重大な時局に於て、總ての困難と缺點とを克服して、その特長を生かし、最前線に又國防上に土木材料の重要な對象物となし得る事を信ずるのである。

扱、このマグネサイトは、之を高温度に加熱するとその主成分である $MgCO_3$ が分解して CO_2 が飛び MgO (マグネシヤ) が残る。然して、この加熱分解によつて 2 種の製品が出来る。

1. 比較的低温度約 $700^{\circ}C \sim 1100^{\circ}C$ 位に煨焼したもので輕燒マグネシヤと稱し、マグネシヤコンクリートの原料となるべきものである。

2. 高温度約 $1400^{\circ}C \sim 1500^{\circ}C$ 位に長時間加熱したもので、之は比重も大で硬化せず、耐火物材料となり、硬燒マグネシヤと稱するものである。

即ち、コンクリート材料として用ひられるマグネシヤは $800^{\circ}C \sim 1000^{\circ}C$ 附近で燒けばよく、普通ポルトランドセメントが $1400^{\circ}C \sim 1500^{\circ}C$ に燒成しなければならぬのに比べて遙かに燒成が容易であり、特に朝鮮に於ては燒成燃料として無煙炭の利用が重大な問題となつてゐる時であり、この低温煨焼と言ふ點に於ても 1 つの特色を有するものである。

2. 鹽化マグネシウム

苦汁即ち鹽化苦土は前述のマグネシヤを鹽酸で溶かしても作られるが、主として海水から食鹽をとつた母液、即ち生苦汁からとつた固形苦汁を用ひるのが便利である。

一體、固形苦汁と言ふのは食鹽の製造に伴つて製造されるのであるが、固形苦汁が重要であるのと共に、

(2) 三輪周造：朝鮮産業新聞、昭和 17. 11. 10.

母體の食鹽が現今極めて重要な物資である事は周知の事實である。例へば、航空機材料たるアルミナの製造にも纖維工業にも其の他種々の化學工業は食鹽を原料とせる曹達工業に基礎を置くのであつて、曹達工業の盛衰は一國の化學工業の生命を制するとまで言はれるのである。更に又、食鹽を採つた母液中には極めて價値多き物質、例へば火薬の原料となるべき鹽化加里、航空機燃料のアンチノック劑となる臭素等々で、此等は總て現在缺くべからざる重要な物質である。固形苦汁は、此等の重要な物資を總て析出し去つた後に残るべきものであつて、これ自體は現在金蜀マグネシウムの原料となつて、非常に貴重な物資になつてゐるのであるが、苦汁を原料とせるマグネシウムの製造は、これに結晶水が含まれてゐて、これを完全に脱水する事が相當に面倒である爲に電解過程に困難な事情が起り、獨乙では岩鹽に伴つて鹽化マグネシウムが無盡藏に存在するにも拘らず、結局マグネサイト为原料として之に鹽素ガスを作用せしめ直接無水の鹽化マグネシウムを作る所謂礦石法を採用してゐる事からしても、苦汁を原料とせる苦汁法が、豊富なマグネサイトを用ひる礦石法に漸次移行するのではないかと思はれる。

従つて、食鹽の製造は今後益々増産につぐ増産を必要とするに對し、固形苦汁も従つて増産し得る状況にあるのであるが、上述の如き理由よりして、固形苦汁の前途も益々有望となる譯である。

以上述べた如く、マグネシヤコンクリートの原料となるべきマグネシヤも固形苦汁も相當に實用化が可能であると思はれるのであるが、マグネシヤコンクリートが、その特長とする所を認められ、戰略上の諸種の目的に使用されるに到るならば、これに對しても亦マグネシヤ及固形苦汁の増産こそ重要な事項となると思はれるのである。

第3章 マグネシヤコンクリートの硬化作用について

マグネシヤコンクリートの成分は從來のコンクリートと同様結合材、水及骨材とよりなるものであるが、たゞ異なる點は、結合材が從來の様に1つの既成製品ではなく、全く異つた2成分即ちマグネシヤ (MgO) と鹽化マグネシウム ($MgCl_2$) が結合して結合材となる事と、水の使用される目的が $MgCl_2$ を溶液として

使用する事が必要である爲であつて、ポルトランドセメントの水に對する關係とは全く異なる點とである。然して、所期の性質を有するコンクリートを作る爲には $MgO : MgCl_2 : H_2O$ の比が自ら定まるべきものであつて、従つて水量も亦自ら定められる事になる。然して骨材+結合材に對する水量がコンクリートの軟度を決定するものであるから、骨材:結合材の比も亦コンクリートの重要な要素となる事は勿論である。換言すれば、結合材と水量とが一定の割合でなければならぬのであるから、硬練のものを必要とする時には水量が減じ従つて結合材自身も減少する事になり、軟練のものを必要とする場合には水量が増加しなければならぬから結合材自身も増大する事になる。要するに、 MgO 、 $MgCl_2$ 及び H_2O は結合材の3成分系をなすものであつて、骨材の粒度或は其の他の諸性質によつて加へるべき結合材の分量は變つてくるけれども、所期の強度を得んとする場合には結合材の間の配合比と共に骨材及結合材の割合が重要な要素となり、普通ポルトランドセメントに比べれば結合材の骨材に對する割合は相當に減じ得られるものである。

マグネシヤコンクリートの初期の化學反應については相當研究されてはゐるが、未だ完全には明かにされてゐないようである。即ち MgO 及 $MgCl_2$ が第3の成分 H_2O と互に化學反應を起して硬化作用即ちオキシクロライドを作るのであるが、この化學反應はたゞ MgO と $MgCl_2$ のみが持つてゐる性質ではなくて、化學的に同じ組合せをもつものに共通な性質である。即ち ZnO と $ZnCl_2$ もその一例で、このマグネシヤセメントを Sorel が見つけたのも或はこれから出發したものではないかとも言はれてゐる。而して、こゝに出來たオキシクロライドの組成については充分明かではなく、従つて最もよい配合比も決定し得ない状態である。然るに今までの文獻を見ると、この3成分の分子比として $5MgO : MgCl_2 : X H_2O$ となり、常に MgO の係數として5を採つてゐるのであるが、コンクリートを作成して其の強度を比較して見ると、後述する様に5以上の所に強度の最高點のある事を知るのである。

マグネシヤセメントの組成を最初に示したのは Sorel⁽³⁾ であつた、Sorel の關係式 $5 \cdot MgO \cdot MgCl_2$ を

(3) Sorel: Dinglers Polyt. Journ. 185, 292, C. r. 65, 102: 1867.

そまゝ正しいものと見認し、たゞ H_2O だけの係数を變化させたものもあり、又この關係式を全然否定した人々もある。その重なるものをあげれば、Woy⁽⁴⁾, Shively⁽⁵⁾, Bender⁽⁶⁾, Davis⁽⁷⁾, Krause⁽⁸⁾, Andre⁽⁹⁾, Hof⁽¹⁰⁾, Kallauner⁽¹¹⁾, Hundschlagen⁽¹²⁾, Lukens⁽¹³⁾, Fahrson⁽¹⁴⁾ があり最近では Chassevent⁽¹⁵⁾, Feitknecht⁽¹⁶⁾ 等がある。

更に、Rodt⁽¹⁷⁾ がマグネシヤセメントの硬化作用について種々の文獻を調査しその組成について研究してゐるのであるが、その論文中から主なる組成の分子比を擧げると

	MgO	MgCl ₂	H ₂ O
Bender	5	1	17
Davis	5	1	13
Andre	1	1	16
Krause	10	1	18
Hof	5	1	13~14
Kallauner	2	1	9
Hundschlagen	3	1	12
Lukens	3	1	11

以上の如く各研究家によつて全く異なる状態で、更に水の分子比に關しても同様であつて、これも極めて重要な關係を持つものである事は後述の實驗結果

- (4) Woy: Zement, 1, 311; 1912.
 (5) Shively: Journ. of Eng. Chem. Bd. 8, 679-682, 1918.
 (6) Bender: Zeitschrift f. Anorg. Chem. Bd. 4, 611.
 (7) Davis: Chemical News, vol. 25, 258, 1872.
 (8) Krause: Lieb. Ann. 165, 38, 1873.
 (9) Andre: Ann. de Chim. et de Phys. 3, 6, Reihe, 1882.
 (10) Hof: Chem. Zeitsch. Bd. 32, 993, 1908.
 (11) Kallauner: Chem. Zeitsch. Bd. 33, 871, 1909.
 (12) Hundschlagen: Chem. Zeitsch. Bd. 33, 241, 1909.
 (13) Lukens: Journ. of Amer. Chem. Soc. Vol. 54, 2372, 1932.
 (14) Fahrson: Chemistrix and Ind. vol. 43, 215, 1924.
 (15) Chassevent: Verre et Silicates und. Rh. 15, 6, 1935.
 (16) Feitknecht: Helvetica acta IX, 1018, 1926; X, 140, 1927; XIII, 1380.
 (17) Rodt: Zement, Bd. 26, 597, 1937.

からも明であるが、苦汁の濃度及其の混入量によつて強度の變化が著しいのである。此の事に關しては Weber⁽¹⁸⁾ が相當な研究を進めてゐる。

Zollinger⁽¹⁹⁾ によれば、これ等の關係は更に進展してゐるものと如くであり、彼によれば MgO の過剰分はその中に混合した骨材が active な珪酸質のものであれば、これと化學反應を起す。即ち、骨材はこの場合填充材としてのみならず化學反應源として役立つことを述べてゐるのである。彼は此の點を強調しこれが K-Beton と Sorelzement との異なる所以であるとしてゐる。然して、最高強度を示す配合比として 8-MgO-MgCl₂-15 H₂O を擧げてゐるのであるが、要するにこれは過剰の MgO の取扱方についての 1 つの考へ方であつて、Heuberger⁽²⁰⁾ が MgCl₂ の溶液中に CO₂ を飽和させて過剰の MgO を MgCO₃ にしようと試みたのも、Lahrman⁽²¹⁾ の SiO₂ と結合させようとしたのも同じ趣旨に基くものである。彼等によれば、マグネシヤコンクリートの強度はオキシクロライドの強度のみではなく、マグネシヤシリケートの強度を併發させる事によつて一層強力なものとなる事を指摘してゐるわけである。

要するに、マグネシヤコンクリートにあつては、その結合材が今までのコンクリートと異つて 2 つの成分が相互に反應して出來上るものであるから、結合材の價值は 2 つの成分を適當に組合せる事によつて支配されるのである。又第 3 の成分である水も極めて重要な要素であつて、MgCl₂ が溶液として初めてその價值を示すものであるから、水量も MgCl₂ と適當な相互關係を保つて初めて所期の目的を達し得られる事になるのである。従つて、コンクリートの成分として今までと同様、3 成分即ち骨材: MgO + MgCl₂: H₂O とすれば、MgO + MgCl₂: 骨材の比が直ちにコンクリートの強度を決定するのであつて、任意に各成分を變化させる事は許されなくなる譯である。

斯の如く、マグネシヤコンクリートの各成分は今までのコンクリートより一次元だけ多くの關係を有する事になり、その性質はそれだけ複雑な各種の條件によ

- (18) Weber: Journ. of Soc. Chem. Ind. vol. 111, 1891.
 (19) Zollinger: Zement. Bd. 46, 587, Bd. 47, 599; Bd. 48, 615, 1940.
 (20) Heuberger: DRP. 186, 448.
 (21) Lahrman: Zement, Band 1, 186, 1912.

つて支配されるものであるが、所期のコンクリートを得んが爲に必要な諸元の決定と土木工學的な諸種の性質を決定し、實地に施工する場合の規準を得んとするのが本研究の目的である。

尙、硬化作用、オキシクロライドの組成等に関し種種の文獻研究があるが、その主なるものを卷末に附した。

第 4 章 結合材の配合比とコンクリート早期強度に関する實驗

1. 總 說

マグネシヤコンクリートは前述せる如く、そのモルタルとしては相當使用され亦研究の對象ともなつてゐるのであるが、これをコンクリートとして使用した實驗結果はまだ寡聞にして見ない。著者は之の點について實際に使用する場合の基準を見出し、設計の目安を得んがため、次の要項によつて、先づ結合材の配合比がコンクリートの諸性質に如何なる影響を與へるかについて調べて見た。

(イ) 材 料

マグネシヤ 使用せるマグネシヤは日本マグネシヤイト化學工業城津工場より供給されたるものにして、之を當激室に於てボールミルにて粉砕せるものを使用せり。その物理的及化學的の諸性質は次の如くである。

比 重 3.03
CO₂ の含有量 %
粉末程度

篩 目 (mm)	0.088	0.15	0.3
通過率 (%)	21.3	94.1	100

凝結試験 養生溫度 20°C
始發時分 終結時分
1 時 45 分 2 時 45 分

原礦石化學成分

MgO	44.09 %	SiO ₂	痕 跡
CaO	2.15 %	Al ₂ O ₃	0.156 %
Fe ₂ O ₃	0.595 %	CO ₂	53.74 %

苦 汁 苦汁は朝鮮武田藥品朱安工場より供給された固形苦汁を融解稀釋して使用せるものにして、多少酸化鐵及硫酸マグネシウムを含む如きも、精製製品にして極微量にして、其の他の不純物も強度に影

響すると思はれるものなし。

骨 材 骨材は細粗骨材共朝鮮漢江より採集せられたるものにして、其の比重は、細骨材 2.62, 粗骨材 2.70 にして、これを篩分析しそれを次の標準により新しい粒度を有する骨材を作成使用せり。

粒 度 率 5.63

配合比	日本標準規格篩通過量 (%)									
	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	25	30
	1	6	13	23	31	36	50	75	87	100

(ロ) 供試體の製作及試験方法

供試體は上述の調整骨材を用ひ、標準型枠 (30 cm × 15 cm φ) により土木學會規定のコンクリート試験法により成型せり。

既に、Sorel が示してゐる結合材の配合比 MgO : MgCl₂ : H₂O = 5 : 1 : 15 を基本とし、此等の各成分を漸次變更して行つた時、コンクリート強度が如何に變るかについて實驗を行つた。この場合各成分の配合比を決定する爲に、MgO は直接重量を測つて定め MgCl₂ 及 H₂O は苦汁の濃度とその容量から計算によつて其の割合を定め、濃度は比重を浮秤にて測定する事によつて決定した。例へば MgO : MgCl₂ : H₂O = 5 : 1 : 15 のものは、略々 MgO = 880 gr, 比重 1.23 なる苦汁 1,300 cc に相當するが如きである。

實驗結果を判斷する場合、從來のセメントに對するものを MgO のみとするか、MgO + MgCl₂ にするかについては、コンクリートの諸性質の中で各場合々々についてそれに適した方法を探つて批判する事にした。

2. 實 驗 I

實驗 I に於ては

MgO : MgCl₂ : H₂O = 5 : 1 : 15

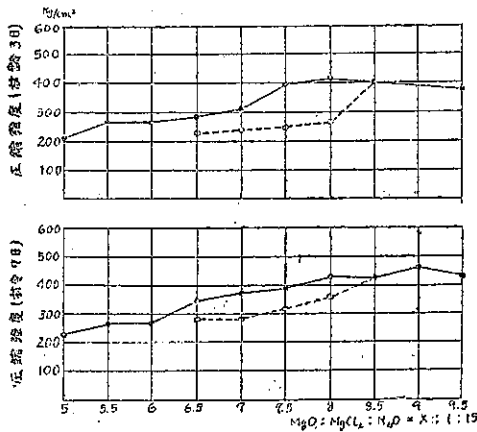
なる割合の分子比から、MgO の量を 10 % 宛増加し 9.5 : 1 : 15 まで増加し MgO の變化に伴ふ強度の影響を調べた。此の場合の結合材の分子比及配合比は表-2 に示す如くである。尙、各場合に於けるスランプ及 3 日及 7 日の強度をも示した。

圖-1 は、MgO の分子比と 3 日及 7 日強度との關係を圖示したものであるが、之より判る様に、配合比が 8 : 1 : 15 に到るまでは強度は漸次増大し、8 : 1 : 15 乃至 9 : 1 : 15 の附近で最大の強度を示し、又漸次低

表-2. 苦汁比重 1.23 混和量 1300 c.c.

試片 番號	結合材配合比				MgO (gr)	水セメント比 $\frac{H_2O}{MgO+MgCl_2}$	混 合 比			スラン プ (cm)	圧縮強度 (kg/cm ²)	
	重量比 (%)			分子 比 MgO:MgCl ₂ :H ₂ O			骨材	結合材	水		3 日	7 日
	MgO	MgCl ₂	H ₂ O									
a ₁	35.48	16.77	47.75	5 : 1 : 15	880	0.91	80.12	10.38	9.50	17.7	210	224
a ₂	37.74	16.19	46.07	5.5 : 1 : 15	970	0.85	79.55	11.03	9.42	16.5	209	209
a ₃	39.74	15.67	44.59	6 : 1 : 15	1055	0.80	79.02	11.62	9.36	15.7	203	206
a ₄	41.61	15.18	43.21	6.5 : 1 : 15	1140	0.75	78.49	12.21	9.30	15.3	280	245
a ₅	43.40	14.70	41.84	7 : 1 : 15	1230	0.72	77.94	12.83	9.23	14.4	302	370
a ₆	45.20	14.25	40.55	7.5 : 1 : 15	1320	0.68	77.40	13.44	9.16	14.0	304	385
a ₇	46.75	13.84	39.39	8 : 1 : 15	1405	0.65	76.90	14.00	9.10	8.5	410	422
a ₈	48.32	13.46	38.22	8.5 : 1 : 15	1490	0.62	76.39	14.56	9.05	4.5	339	413
a ₉	49.09	13.08	37.23	9 : 1 : 15	1580	0.59	75.82	15.20	8.98	0	391	461
a ₁₀	51.07	12.72	36.21	9.5 : 1 : 15	1670	0.57	75.36	15.72	8.92	0	286	430

圖-1. MgO の變化に伴ふ強度の影響



下し始める。これは普通 Forezement の組成比と考へられてゐる割合よりは MgO の量が相當大である。Zollinger によれば、この過剰の MgO が骨材の珪酸と反應すると言ふのであるがその眞否については尙考慮すべき餘地があると思ふ。MgO が 8.5 の附近から軟度が急激に減少して其の影響もあらうが、要するに MgO:MgCl₂ が 8:1 から 9:1 附近が強度を出す上に最も大切な點である事は確である。

3. 實驗 2

次に、結合材の配合比が 8.5:1:15 の點より、MgO の量は一定に保ち MgCl₂ の溶液の混入量を増加させる事によつて MgO の割合は變化するが、この場合溶液の濃度は一定であるから、溶液の使用量を 1376, 1470, 1580, 1700 cc と次第に増加させるに従つて MgO

表-3. (使用 MgO = 1490 gr)

試片 番號	結合材配合比				苦汁 混入 量 (1.23)	配 合 比			$\frac{H_2O}{MgO+MgCl_2}$	スラン プ (cm)	圧縮強度 (kg/cm ²)	
	重量比 (%)			分子 比 MgO:MgCl ₂ :H ₂ O		骨材	結合材	水			3 日	7 日
	MgO	MgCl ₂	H ₂ O									
b ₁	49.09	13.84	39.39	8 : 1 : 15	1376	76.93	14.64	9.50	0.65	20	261	356
b ₂	45.20	14.25	40.55	7.5 : 1 : 15	1470	75.20	14.74	10.06	0.68	21	246	315
b ₃	43.46	14.70	41.84	7 : 1 : 15	1580	74.47	14.85	10.68	0.72	23	237	290
b ₄	41.61	15.18	43.21	6.5 : 1 : 15	1700	73.66	14.97	11.37	0.76	23	224	288

表-4. (MgO の使用量 1405 gr)

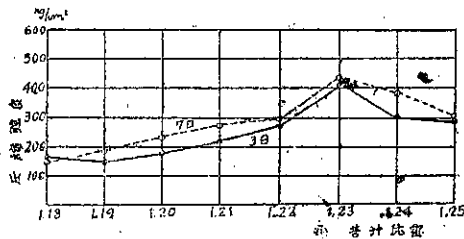
試片 番號	結合材 配合比				苦汁 混和 量 (cc)	配 合 比			$\frac{H_2O}{MgO+MgCl_2}$	ス ラ ン プ (cm)	壓縮強度 (kg/cm ²)	
	重量比 (%)			分子 比		骨材	結合材	水			3 日	7 日
	MgO	MgCl ₂	H ₂ O									
c ₁	41.57	12.23	46.15	8 : 1 : 19.9	1665	74.74	13.60	11.66	0.86	23	161	159
c ₂	42.70	12.61	44.69	8 : 1 : 18.8	1580	75.24	13.69	11.07	0.81	23	147	187
c ₃	43.77	12.93	43.30	8 : 1 : 17.8	1505	75.70	13.78	10.52	0.76	22	170	227
c ₄	44.82	13.24	41.94	8 : 1 : 16.8	1430	76.13	13.86	10.01	0.72	20	210	266
c ₅	45.84	13.54	40.62	8 : 1 : 15.8	1360	76.54	13.93	9.53	0.68	9	277	289
c ₆	46.83	13.83	39.67	8 : 1 : 15.0	1300	76.92	14.00	9.15	0.65	6	416	422
c ₇	47.79	14.12	38.10	8 : 1 : 14.3	1240	77.28	14.06	8.66	0.62	1	300	385
c ₈	48.70	14.38	36.92	8 : 1 : 13.6	1180	77.61	14.12	8.27	0.58	0	292	300

の割合は 46.75 ; 45.20 ; 43.46 ; 41.61 % と減ずる。然してその場合の混合比及強度との関係は表-3、圖-1 に示す如くである。この事よりコンクリートの強度は結合材の絶対量よりも、その配合比が重要である事を示すものである。尙、實驗-1 にて得た強度よりも、實驗-2 の強度の低下してゐるのはスランプが前者に比べて大きい爲であらう。

4. 實驗 3

次に、結合材の中、H₂O の割合が早期強度に如何なる影響を與へるかを知る爲に實驗-3 を行つた。即ち、苦汁溶液の濃度を變化させる事によつて、その中の水量が變化するがこれと壓縮強度との關係を調べて見た。苦汁溶液はこれを比重にして、1.18, 1.19, 1.20, 1.21, 1.22, 1.23, 1.24, 1.25 と増大せしめる事によつて、MgCl₂:c H₂O の分子比は 19.9, 18.8, 17.8, 16.8, 15.8, 15.0, 14.3, 13.6 と減少する。この場合にも結合材の比は 8:1:15 を基準にとつて MgO:MgCl₂=8:1 と一

圖-2. 苦汁濃度と強度との關係



定にしたのであるが、この實驗結果は表-4 並びに、圖-2 に示す如くである。

この結果から見れば、結合材の比が MgCl₂:H₂O=1:15~14 附近がコンクリートの強度に極めて重要な點である事を知るのである。この場合、苦汁濃度と比重とはその溶液の温度によつて變化し、著者の實驗結果の計算は濃度と比重の關係を 1/20 を基準とせるを以て、實驗が冬季に及んだ爲一度加熱した苦汁も實驗中に冷却するの已むを得ない状態であつた。故にこの分子比には多少の補正を必要とするも便宜上そのままの値を採用した。従つて H₂O の分子数は多少小さくなる筈である。

要するに、水の分子比が 10.5 以下に下れば強度はこゝに擧げるまでもなく急激に減少する。これは水がこの量以下に下る事になれば、MgCl₂ はその全部を溶解する事は出来ないからである。又水量が 19 以上、比重にして 1.19 附近以下になると、本實驗からも明かな様に強度が急激に減少するし、又適當な配合を用ひた場合に於ては、水量がこれ以上になると極めて軟練となり、この點からも強度の減少が起つてくる。

以上の事から、マグネシヤコンクリートの強度を充分に發揮せしめる爲には、MgCl₂ との分子比を 15 前後に保つことが必要となる。

5. 實驗 4

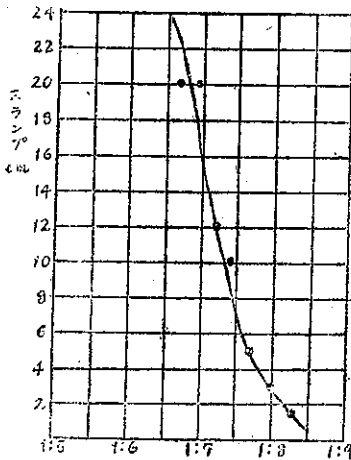
次に、實驗-4 に於ては、一定の配合比を持つ結合材を骨材と種々の割合に混合した場合、コンクリートの強度が如何に變化するかを調べた。ポルトランドセメントを用ひる場合にスランプ試験を行ふ時は、たゞ水セメント比を一定にするだけでよかつたが、此の場

表-5. (結合材配合比 8:1:15)

試片番號	セメント 骨材比	苦汁混入量 (cc)	使用セメント量 (gr)	スランブ	壓縮強度 (kg/cm ²)	
					3 日	7 日
d ₁	1 : 6.6	1400	1515	20	282	285
d ₂	1 : 6.9	1350	1460	20	285	340
d ₃	1 : 7.2	1300	1405	12	276	292
d ₄	1 : 7.4	1250	1355	10	290	297
d ₅	1 : 7.7	1200	1300	5	261	300
d ₆	1 : 8.0	1150	1245	3	275	309
d ₇	1 : 8.4	1100	1190	1	260	315

合は3成分り比を一途に保つことが必要となる。實驗の結果は表-5、圖-3及圖-4に示す如くである。

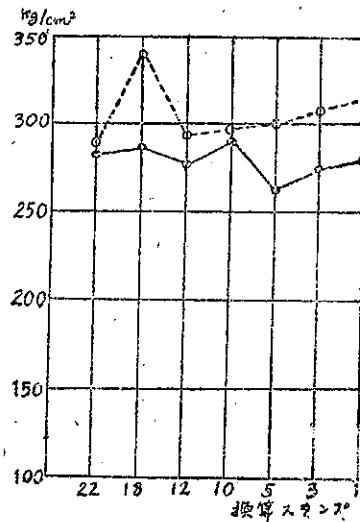
圖-3. スランブ配合圖



この結果から見れば、結合材の量が増大すれば、次第にスランブが増すが、スランブがある大きい範囲内にある間は結合材の増加と共に強度も増すが、スランブが餘り大きくなると結合材の増加にも拘らず強度が遞減するに到る。然して今1つ顯著なる事實は配合が相當に貧配合になつた時にも、又スランブが相當大きくなつても、強度の減少する割合が少い事である。即ち結合材の配合比がある一定の割合を保つ限り強度は略一定の強度を示すもので、この點、ポルトランドセメントの水セメント比と強度との関係と同じ性質を示すのである。尙又、セメント糊が骨材に比してその割合が相當低下する時にも相當の強度を維持し得

られる事實は、マグネシヤセメントはポルトランドセメントに比してコロイダルであり被覆性に富むが故であつて、骨材は少量のセメント糊で充分被覆され結合される事はマグネシヤセメントの持つ1つの大きい特色であると考へられる。この場合、スランブを決定する要素は、主として苦汁溶液の分量と MgO+骨材の比によつて決定せられるものであつて、MgCl₂·H₂Oの比には普通に使用し得る苦汁濃度の範圍に於ては影響がない(實驗-5 参照)。故にこの項では、MgO:結合材の比を基準として強度との關係を求めた。

圖-4. スランブと強度



6. 實驗 5

以上で結合材配合比が早期強度に及ぼす影響についての大體の概念を得たのであるが、かくして得た早期

表-6. (使用 苦汁 比重 1.22)

試片 番號	結合材 配合比				MgO (gr)	苦汁量 (cc)	コンクリート 配合比			ス ラ ン プ (cm)	壓縮強度 (kg/cm ²)			
	重量比 (%)			分子比 MgO:MgCl ₂ :H ₂ O			骨材	結合材	H ₂ O		1 日	3 日	7 日	28 日
	MgO	MgCl ₂	H ₂ O											
e ₁	53.68	11.59	34.73	10.9 : 1 : 15.8	1700	1200	75.95	15.70	8.35	1	314	371	425	496
e ₂	51.76	12.09	36.16	10.1 : 1 : 15.8	"	1300	75.27	15.78	8.95	4	375	388	425	444
e ₃	49.85	12.55	37.60	9.4 : 1 : 15.8	"	1400	74.57	15.87	9.56	10	258	286	362	374
e ₄	47.21	13.22	39.57	8.5 : 1 : 15.8	1200	1100	79.73	12.25	8.02	1	260	309	275	280
e ₅	44.99	13.76	41.25	7.7 : 1 : 15.8	"	1200	78.95	12.37	8.68	5	238	223	238	263
e ₆	43.09	14.25	42.65	7.2 : 1 : 15.8	"	1300	78.22	12.49	9.29	17	218	246	260	—
e ₇	42.15	14.47	43.38	6.9 : 1 : 15.8	"	1350	77.84	12.55	9.62	22	193	187	224	241
e ₈	41.23	14.71	44.06	6.7 : 1 : 15.8	"	1400	77.46	12.61	9.93	23	195	238	251	272

強度は 28 日間に如何なる發展を示すかを知るために次の如き要項により材齡と強度との關係を求めたのである。苦汁の比重を 1.22 とし、MgO を 1.7 kg 及

に大きな特色であると考えらるのである。

註 苦汁濃度 1.22 を用ひたのは、本教室の試験機が能力 100 ton である爲、1.23 のものゝ試験が相當無理と思はれた爲である。

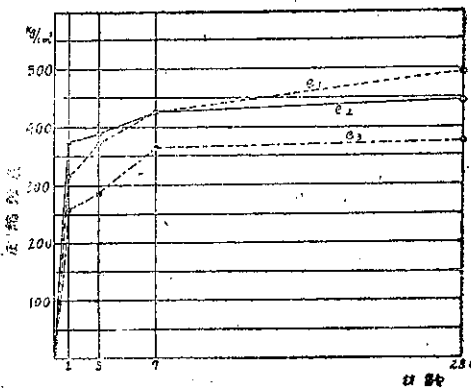
7. 結 論

以上の各實驗結果を綜合して見ると次の事が結論される。即ち、マグネシヤコンクリートの強度は骨材と結合される成分系 MgO-MgCl₂-H₂O の配合比によつて大體の見當がつく事になる。更にこの 3 成分系が MgO : MgCl₂ : H₂O = 8~10 : 1 : 16~19 の附近に於て最大の強度を示すものである事も知る事が出来たのである。従つて既に Sorel が示してゐる關係 5 : 1 : 15 よりも多少コンクリートとした場合の最高點の位置は異なるのであるが、その原因については今こゝでは保留し後日に譲る事にする。

要するに、マグネシヤコンクリートに於ては、3 成分の配合比がその性質に極めて重要な要素を與へるものである。丁度ポルトランドセメントの水セメント比に相當するものであるが、1 つ factor が多くなつてゐる爲にそれ等の關係が一層複雑となるのである。従つてこれを 1 つの關係式に現はすことも必要であるが、今この 3 成分系と強度との關係を三角座標系によつて求めて見ると圖-6 の如くなる。施工に當つてはこの圖を基礎として、所要の性質を持つコンクリートを作成する事が可能で、全般的な概念は充分得られ得ると思ふ。

マグネシヤコンクリートは、諸實驗から明かな如く諸種の要素に支配されるけれども、之を適當な配合及

圖-5. 材 齡 と 強 度 の 關 係



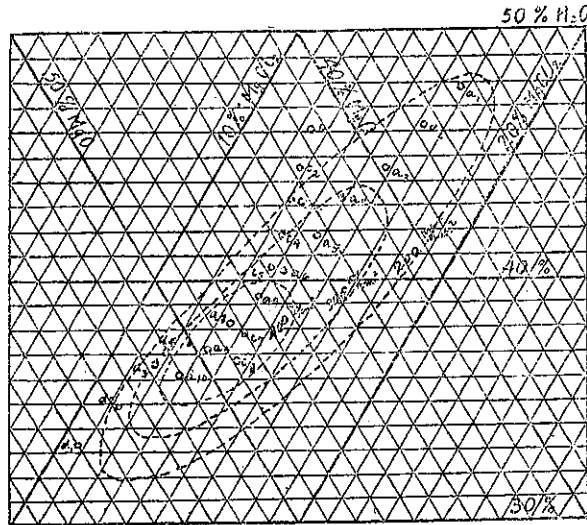
1.2 kg に定め、各々について苦汁量を 1200, 1300, 1400 c.c. に變化させた。この場合の結合材配合比及實驗の結果は表-6 に示す如くである。

この結果から見ると、マグネシヤコンクリートは 28 日の材齡に於て 500 kg/cm² 程度の壓縮強度を得る事は特別な操作を施すことなくして得られる事が分るのであつて、マグネシヤコンクリートは早期に於て相當の強度を示すと共に材齡 28 日に到るまでには尙相當の強度の増加が認められるのである。マグネシヤコンクリートが早強コンクリートとしての特長と共に 28 日強度に於ても極めて優秀なる強度を示すことは、確

施工を施すことによつて極めて優秀な性質を有するも 験を續行する積りである。
 のである事の概念は得られると思ふ。尙引續き之が實

(昭. 19. 4. 1. 受付)

圖-6.



圧縮強度に対する所帯配合圖