

## 膨張セメントの最近の発達について

松 本 嘉 司\*

## 1. 緒 言

筆者がパリで受講したプレストレスト コンクリートの講習会のうち、セメントの講義はセメント コンクリート研究所の理事である Lafuma 教授によつて行われたが、この講義の後半はほとんど膨張コンクリートについて行われた。これまでも、すでに簡単には紹介されていたが\*\*、直接に聞くことによつて、この未開の材料に対するフランスの熱意のほどを感じることができた。その後親しくなつた土木専門学校 (l'école de poids et chaussées, 日本における国立大学の土木科に相当する) 出身の友人の、在校中のノートを一見する機会を得たが、終戦前後から正規の講義としてこのことが講義されていたことを知つた。彼のコンクリートおよび鉄筋コンクリートの講義の最後にある補講の部分は3部に分れており、第1部がプレストレスト コンクリート、第2部が A E コンクリート、そして第3部が膨張コンクリートについてのものであつた。以下 Lafuma 氏および Lossier 氏のもとで調べたことをもとにして大要を紹介する。

## 2. 各国の研究の動向

最も早く膨張コンクリートの研究に手を染めたのは Lossier 氏で、1932 年以来この研究を行つており、1936 年に最初の論文を発表している。コンクリートの硬化中に、その中のセメントと石こうと作用して消石灰の硫酸アルミニウム塩を形成し、硬化後に膨張することは、コンクリートに膨張きれつを生じさせる原因としてコンクリートの安定性を害すると考えられていたが Lossier 氏は逆に、ポルトランド セメントの中に、硫酸アルミニウム塩を形成することによつて、硬化後に制御できる膨張をおこさせるコンクリートを着想した。1941 年にはこの考えによりフランスにおける有力なセメント会社である Poliet et Chausson 会社で生産されるに至つた。こゝでつくられた膨張セメントは、ポルトランド セメントを基剤としてこれに石こう、ポーキサイト、石灰石を焼いて作つた硫酸アルミニウム セメントを膨張剤として加え、安定剤として高炉スラグを用いている。この3者の配合によつて、Lossier 氏は高膨張セメント、中膨張セメント、弱膨張セメント、無収縮セメント(始めに膨張

させておいて、その後生ずるセメントの収縮を打消すようなセメント)に分類した。この膨張率は 0.2~1.5% で膨張と時間との関係を図示すると 図-1 のようになる。

このフランスの特許によつて、1946 年には Schenker 氏と Shann 氏が石こう、石灰、アルミニウム化合物の混合物より膨張セメントを作るスウェーデンの特許を得ている。イタリアでも Gorla 氏と Appiano 氏によつて硬化熱に対する安定性の研究から Lossier 氏のセメントと類似のものを得ている。このセメントの膨張剤として 700°C で焼成した石こうと Lossier 氏の硫酸アルミニウム塩セメントのかわりに石灰、石こう、ポーキサイトの混合セメントを用いており、基剤および安定剤としてはポルトランド セメントおよび高炉スラグを用いている。

ソ連における膨張セメントの研究はすでに紹介されているが、1947 年にアルミナ セメントまたはポルトランド セメントの粉砕のときに、石灰とアルミナ セメントの水酸化化合物を加えて膨張セメントを製造する特許が提出されている。また、ソ連においては Budnikov 氏および Kosyreva 氏によつて焼成した陶土 (26~35%) と消石灰 (43~65%) とポルトランド セメント (0~31%) とを湿式で粉砕し、同量の石こうを加えて膨張剤を作り、これで無収縮セメントを作ることが研究されている。この膨張剤はセメントに 5~10% くらい混合して用いているが、このくらいではセメントの強度その他におよぼす影響はほとんどないようである。この場合、高炉スラグを加えることによつて、体積変化をいちじるしく減少することができたと報告している。

ドイツにおける膨張セメントの研究は 1949 年に Lossier 氏のセメントと全く類似のセメントを試作したことには始まつている。Hummel 氏および Charisius 氏はアルミナ セメントと普通セメントによるコンクリートの強度および水中、空気中での膨張に関して数多い実験を発表し (1949 年)、Kell 氏および Gille 氏は無収縮セメントおよび膨張セメントをうるためにアルミナ セメントとポルトランド セメントと石こうとの混合物について研究し、この混合セメントと普通ポルトランド セメントとで作つたコンクリートの間には強度的には差がな

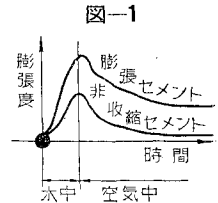


図-1

\* 正員 国鉄大阪工務局大阪工事区

\*\* 藤井光蔵: セメントの進歩とコンクリートの改良, セメントコンクリート 1955 年 10 月号 N104 (p 18)

\*\*\* 樋口芳明: ソ連におけるプレストレスト コンクリートの発達, セメントコンクリート, 昭和 33 年 6 月

いことを発表している（1949年）。

以上、膨張セメントに対する各国の初期の動向を眺めたわけであるが、フランスで生れたこのセメントはベルギー、スウェーデン、ソ連等にその地位を固めてきており、比較的技術的には交流の少ない隣国ドイツでも、その後を追って本格的に研究を続けている。イギリスでもフランスより膨張セメントを試験的に輸入していると聞いている。現在ではこの膨張セメントそのものの研究とともに、膨張コンクリートとしての実際的なその利用方法の研究、およびその試用に研究の重点が移りつつあるが、セメントの膨張を左右する因子がきわめて多岐にわたるため、所定の膨張を正確にコントロールするための問題点は、まだ完全に解決されていないようであった。

### 3. 膨張セメントの応用に対する研究

この膨張セメントを用いて作られるコンクリートの応用範囲は、きわめて広く、特に弱い膨張を起して収縮を打ち消す無収縮コンクリートに対しては各国とも強い関心を示している。また中膨張、強膨張セメントの利用について、Lossier氏は次のように述べている。

「強膨張セメントおよび中膨張セメントは今までに以下のものに用いて成功を収めた。

- a) 地下の基礎工に用いたコンクリート施工
- b) トンネルの覆工と地山との間の充填コンクリートの施工
- c) 鉱山坑道の補強コンクリート施工
- d) 石工アーチ および コンクリート アーチにプレストレスを与えるための目地および仕上げコンクリートの施工
- e) 破損したコンクリート構造物の修理に用いたコンクリート施工

このほか重力ダム、アーチダムのコンクリート施工に、水槽、貯水池等のために水密性の高いコンクリートを作ることに、コンクリート管の水密性を高めるために、大きな機械の基礎コンクリートに等々、その実用の範囲を拡げつつある。

これらの設計においては、全く自由に膨張した場合の膨張コンクリートの伸びと、完全にのびを制限された場合の膨張コンクリートの示す力とを実験から求めて、これを組合わせて応力を計算しているが、これと実際の応力との間には相当の差が認められる。これはコンクリートのクリープに原因しているし、また、強膨張セメントを用いて、鉄筋コンクリートに自動的にプレストレスを与える (auto-tension) という考えが、いまだに達成されていない理由にもなっている。Lossier氏は鋼材によつて与えられたプレストレスと、膨張セメントによるプレストレスとでは比較にならないことを認めているが、膨張セメントを改良することと鉄筋コンクリートの施工

にある種の工夫をすることによつて改善することができると考えている。一方、長手方向にプレストレスを導入する構造物に対して膨張コンクリートを試用するという試みがある。これによれば長手方向にはPCケーブルで機械的にプレストレスを与え、横方向には環状の支持金具を取りつけた鉄筋を配置して膨張コンクリートを施工し、プレストレスを与えることを考えている。

また、飛行場の滑走路や道路舗装に膨張コンクリートを用いようとする動きもあり、試験的研究は始められている。膨張セメントまたは無収縮セメントを舗装コンクリートに応用することによつて、ほとんど目地のない舗装面を作ることができる。非収縮コンクリートは道路および滑走路の無筋コンクリート舗装を対象にしており、強膨張コンクリートは鉄筋コンクリートによる滑走路の舗装に対して考えられている。この舗装コンクリートの設計施工には無数といつてよいほど問題が残されており、特に、設計荷重のとり方はむずかしいものであることがいわれている。この工法が成功して目地をなくすることができれば、舗装に弱点がなくなるため、局所的な破損をなくすることができる。また地盤に与える圧力も、目地の下は、他の部分にくらべて4倍にも達するといわれており、これから舗装が設計されているため、目地をなくすることによつて経済的な設計にすることができる。このことから、目地のない舗装に対する要求は大きいし、またそれは不可能ではないと考えられている。

### 3. ソ連における膨張セメント

フランスおよびフランス系の膨張セメントは前に述べたように、硫酸アルミニウムセメントを膨張剤としてポルトランドセメント（基剤）および高炉スラグ（安定剤）に加えて作られるに反して、ソ連における膨張セメントは、高価なアルミナセメントの使用をさけるため、ポルトランドセメントに5~7%の焼成した白雲石（dolomie）を加えて作られている。もちろんソ連においても硫酸アルミニウム系膨張セメントも作られているが、この新しい膨張セメントの特徴は安価であり、製法がきわめて簡単である点にある。膨張率は0.2~0.4%の範囲にある。

硫酸アルミニウム系膨張セメントは硬化作用とともに水酸化カルシウムの硫化アルミニウム塩を形成し、これの結晶作用によつて、アルミナセメントの膨張を起させるものであるが、このソ連式の膨張セメントはセメントペーストの硬化の初期において、マグネシウムの水酸化塩を形成し、その結晶作用によつて膨張をおこさせている。この水酸化マグネシウムの形成の強さが膨張の速さを示すものであり、これはまた焼成の温度にも関係してくる。この場合800~900°Cに焼成した白雲石を5~7%を加えて作った膨張セメントの成績が最善であつた

と報告されている。この実験の一種として、コンクリートブロックの目地に膨張セメントをつめ、目地の透水性の良否から膨張セメントの良否の判断をしている。

ソ連におけるプレキャスト製品の製造がさかんであり、コンクリートブロックを並置して作るいろいろの構造物の目地コンクリートとして、膨張コンクリートに利用を考えている。すなわちコンクリート板を並べて、その間に膨張セメントを施工することによつて水密性の構造物を作ること、建築物の大きい部材の接合点に用いること、等のことが報告されている。

## 4. 文 献

### (1) フランス

- 1) Lossier, H.: 無収縮セメントおよび膨張セメント  
Genie Civil CIX 14, 285~287, 1936  
Annales des Pontes et chaussées 1.1. 15-36. 1937  
-Bibl. F.39  
Zement XXVI. 32, 507. 1937
- 2) Lossier, H.; 膨張セメントの問題点  
Institut technique du Batiment et des Travaux  
Publics Circulaire K.I. 10 février 1941, p.9.
- 3) Perre, R.: 無収縮セメント, および膨張セメント  
Cours-Conférences du Centre de Perfectionnement  
technique (avr. 1944), 26-34, 9 fig-Bibl.  
G. 150 (II)  
Travaux No.120.6.205. 1943  
Cement Lime Manuf., G.B. XX. 4.75-77. 1947
- 4) Lossier, H.; 無収縮セメントおよび膨張セメント  
の基本的報告  
Travaux 120.6.203. 1943
- 5) Lossier, H.: 膨張セメントとその応用, 特に自動  
プレストレスト コンクリートについて  
Le Genie Civil CXXI.8.61-65. 1944  
Le Genie Civil CXXI.1.9.67-71. 1944  
Bull. Techn. Suisse Romande. LXXIII. 221-230.  
1947  
Travaux 156. 15. 1947
- 6) Lossier, H.: 膨張セメントとその新しい応用  
Techniques et Architecture (1948) No.1-2, p.  
78-79
- 7) Lossier, H.: 膨張セメントによる自動プレストレ  
スト コンクリート  
Mém. Soc. Ingrs Civ. Fr. (mars-avr. 1948), fase.  
Nos 3 et 4 189-225, 25 fig-
- 8) Soulassol, J.; 膨張セメントによる自動プレスト  
レスト コンクリート  
Monit. Trav. publ. Batim., Fr (27 Nov. 1948),  
No.48, 9.  
Ann. Inst. techn. Batim. Trav. Publ. Fr. (Fév,  
1949) No.64 (Dec. Techn, Sept.-Oct. 1948, fasc.  
No.22) 57.

- 9) Lossier, H.: 膨張セメント (ストックホルムにお  
いて 1948 6 月に開催された第3回大ダム会議の報  
告より)  
Rev. Matér. Constr. Ed. C. Fr. (Jan. 1949) No.  
400 19-20.
  - 10) Lossier, H.: 破損した構造物の修理にたいする膨  
張コンクリート工法  
Le Genie Civil CXXIII 153-155, 1945  
Le Genie Civil CXXII 21, 164-66, 1945
  - 11) Lossier, H.: 膨張セメントの応用  
J. Amer. Concr. Instit. XLIII. 18.9.1074-1075,  
1947  
Concrete et Constr. Engin. XLII. 1, 1947
  - 12) Lossier, H.: 未来のセメントによるコンクリート  
および鉄筋コンクリート構造の革命, 簡便セメント,  
伸長性セメント, 無収縮セメント, 膨張セメント  
Memoires de la Sté des Ingénieurs Civil de Fran-  
ce-Fasc. Juillet-Août, 1937
  - 13) Rev. Matér. Constr.: 膨張セメント  
Rev. Matér. Constr. (mars 1948) No.390 p.104
  - 14) Lafuma, H.: セメントの膨張理論  
Rev Matér Constr. (Extr. des Nos 243, déc 1929  
et 244 Jan. 1930)
  - 15) Lufuma, H.: ロンドンにおける 1952 年の第3回  
セメント化学の国際シンポジウムの報告
  - 16) Levy (J.P.): 膨張セメント  
Bâtir, Fr (Nov. 1952) No.26 15-20
  - 17) Lossier, H.: 膨張セメントとその応用  
Structural Engineer (1946)
- ### (2) イタリア
- 18) Gorla, C.: セメントの膨張について  
Il Cements, Ital (1948)
  - 19) Gorla, C & Appiano, M.: 新しいセメント, 硫酸  
アルミニウム ポゾラン セメント I  
Il Cements Ital (mars, avr, 1949) Nos 3,4, 34-  
7, 54-7
  - 20) Ferrari, F.: 膨張セメントについて  
Il Cements Ital (mai-juin 1949) Nos 5-6, 68-71
  - 21) Rinaldi, G.: 膨張セメントの研究  
Giron, Genio Civile (1950) 88
  - 22) Gorla, C & Appiano M.: 新しいセメント, 硫酸  
アルミニウム ポゾラン セメント II  
Il Cemento Ital (juil 1950) No.7 112-6
  - 23) Gorla, C & Appiano M.: 道路および滑走路舗装  
における膨張コンクリート工法  
Industr. Ital, Cemento (Jan.-Féb. 1951) No.1-2  
37-42
- ### (3) ソ 連
- 24) Budnikov & Kosyeva: 膨張セメントの膨張要  
素としての硫酸カルシウム塩  
Dokl. Akad. Nauk, S.S.S.R. (1948), 61, 681-6.  
4 p.
  - 25) Budnikov & Kosyeva: 水酸化硫酸アルミニウ

ム セメント以外の膨張セメントについての研究  
Silikattechnik Dtsch (mars 1953) No.3, 128-30.  
Cement. S.S.S.R. (1952) 18. No.4, 11-5

#### (4) ドイツ

- 26) Hummel, A & Charisius, K : 膨張セメントおよび無収縮セメント  
Zement Kalk Gips Dtsch (juil 1949) No.7 127-32
- 27) Keil, F & Gille, F ; 高炉スラグをふくむセメント中の石こうによる膨張  
Zement Kolk Gips, Dtsch (Aug. 1949) No.8 148-52
- 28) Grün, R & Grün, W ; 膨張セメントの製法, 性質, 施工  
"Beton, ses matières premières et sa mise en œuvres" Cire. d'Inf. de l'Inst. Rech. Buchenhof, Hösel (1948, 2 éme edit, augmentée, Cire d'Inf 11 B 5
- 29) Gehler, W. & Teichmann, E : 膨張セメントの製法  
"Wissenschaftliche Berichte" Folg II-Bauwesen  
1. Berlin, Verlag Technik, 1952, 35 p, 16
- 30) Wesche, K : 膨張セメントのおもな用途  
Zement Kalk Gips, Dtsch (avr 1955) No.4 118-28
- 31) Kühl, H : 膨張セメント  
Silikattechnik Dtsch (Nov. 1955) No.11 476-7

#### (5) その他

- 32) Cement Lime Manuf : 膨張セメントの用途  
Cement Lime Manuf, G.B. (Mai 1951) 24, 45-6
- 33) Lindh : Lossier セメントとスウェーデン標準セメントとのモルタルによる比較試験  
Swedish Cement and Concrete Research Institute at the Royal Institute of Technology, Stockholm, 1954.

### 5. 特 許

#### (1) フランス

- 1) Ets Poliet et Chausson : No.813977, 水硬性セメントの製法について
- 2) Ets Poliet et chausson : No.949789 (特許 166)  
収縮の少ないセメント, 無収縮セメントおよび膨張セメントの工場生産方式について

- 3) Sté Kaspar Winkler : & Co- No.941147 (特許 124) 水和したポルトランドセメント, モルタル, コンクリート, その他水硬性材料の膨張をうる方法について
- 4) Henry Lossier : No.993909 (特許 292)  
コンクリートおよび石工構造物の目地に対する膨張コンクリート工法
- 5) Hivay Handels- und Industrie-Verwaltungs A. G.-No.1036101 アルミニウム粉末によるガス性膨張コンクリートの製造方法について
- #### (2) その他
- 6) Ets Poliet et chausson : ドイツ特許 No.E 48292 (仮), No.660268 (ドイツ)
- 7) Schenker & Shann : スウェーデン特許 121, 163 (1946 déc.)
- 8) Mikhalov : ソ連, 特許 68/Mag (1947)

### 6. 結 語

以上の文献を見てわかるとおり, 膨張コンクリートはまだ幼年期にある学問といえることができる。その理論的な膨張の機構についても, 膨張量の定量的なコントロールについても, 膨張の自由度が拘束されたときの膨張量とクリープとの関係についても, セメント自体としての問題点はすべて解決されているわけではない。またその応用面においても試験的にはいろいろなアイデアを出して工事に試用されているが, 本格的にこのコンクリートの地位が確立しているわけではない。このコンクリートの将来についてはフランスでも懐疑的な見方をする人も, 希望的な見方をする人もいるわけである。しかし研究自体はきわめて熱心に行われていることは事実であり, 各国とも生産者側の膨張セメントに対する研究と, 使用者側のその利用, 応用に対する研究とがタイアップして行われているようであつた。プレストレストコンクリートのアイデアは古い, 工学的に確立したのは最近であることを思えば, 同じフランスで生れたこの新しいコンクリートの将来について希望をかけてよいと考えられる。

## 書 評

### 大発破心得規範の解説

電力建設協力会・日本産業火薬会編 電力建設協力会 刊

さきに発刊された大発破心得規範に具体的解説を加えた, いわば大発破の教科書ともいふべきもので, 大発破作業に従う人々の保安教育に資せんと考えたものである。坑道の掘進, 火薬類の運搬, 装填, 埋戻しその他に関し必要と思われる事項は

あまねく網羅され, 懇切な説明と豊富な参照図とともに平易簡明に書かれている。内容は総則, 調査および準備, 掘削, 装填, 埋戻し, 坑外結線, 退避警戒, 発破および補項として説明上の点を補足している。電源開発事業は国土の総合開発に

発展し爆薬消費がおびただしく, かつ, 年々増加の傾向にあり大発破の実施はさらに広い範囲にわたろうとしているとき, 大発破の作業工法のよい指導書でありその普及によつて技術の向上と保安の高揚の実が大いにあがるものと期待される。本書はこの作業にたずさわる者にとつて, また同作業新人教育教科書として適当なものとする。A 5 判, 126 ページ, 上製, 昭 34. 6.30 発行。