

【252】

氏 名	山 岡 一 三 やま おか いち ぞう
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 165 号
学位授与の日付	昭 和 42 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	高炉セメントを用いたダムコンクリートに関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 岡 田 清 教 授 丹 羽 義 次 教 授 畠 昭 治 郎
--------	--

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はダム用高炉セメントを用いてダム本体コンクリートを打設する場合、コンクリートの物理的・化学的性質に及ぼす施工条件の影響について詳細な検討を加え、施工指針として有効な成果を得た結果についてまとめたもので、緒論、2編、結論よりなっている。緒論は本研究を始めるに至った動機と研究目的およびこの論文の内容を概説している。第1編はダム用に配合設計された高炉セメントコンクリートの工学的性質について検討したもので2章よりなっている。第1章においてはコンクリート打設後の養生条件と各種の強度、収縮量との関係についてモルタルによる試験と関連併行させ、またつねに普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較しながら実験的研究を行ない、その特質を明らかにしている。すなわち養生温度を4〜30°Cに変化させた場合、高炉セメント、普通ポルトランドセメントのいずれを用いた場合でも、養生温度の上昇とともにモルタルおよびコンクリートの初期の圧縮、引張強度の増加は大きく、30°Cの場合は91日の長期強度は必ずしも増大しない。しかし材令に伴う強度発現の様相は両種のセメントで非常に異なっており、高炉セメントを用いた場合には、とくに単位セメント量の小さなときは4°Cの低温度で材令24〜72時間における強度が小で、普通ポルトランドセメントを用いたときのその30〜50%にすぎないが、材令91日においては70〜95%となる。このことは高炉セメントにおいては、初期材令かつ低温の場合には、クリンカーと水との反応によって生ずるCa(OH)₂の生成量が少ないため、高炉水サイの水硬性を刺激する作用が不充分であることによると推定されると述べている。また同一空気量発生に要するAE剤の使用量は高炉セメントを用いた場合の方が大であるが、空気量増加による強度の減少については両セメント間ではほぼ同じあること、さらに塩化カルシウム混入による初期強度の増進率も両セメント間で大差ないことを確めている。さらに水中養生の高炉セメントコンクリートでは初期に容積膨張を示し、長期の自由収縮量が減少し、強度発現も大であり、湛水養生の好影響は普通ポルトランドセメントよりも著るしいことを検討している。

第2章ではコンクリート打設後初期の期間における動弾性係数，断熱温度上昇，また比熱，熱伝導率，凍結融解抵抗性について，普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して広汎な実験を行なっている。一般に材令の増大に伴う動弾性係数の増加は強度の増大と同様の傾向を示すが，高炉セメントコンクリートと普通ポルトランドセメントコンクリートとを比較すると，とくに低温養生，初期材令においては，強度差のような顕著な差を動弾性係数では生じないこと，また高炉セメントコンクリートでは，2週間水中養生を行なえば，その後乾燥状態に置いても，普通ポルトランドコンクリートにくらべ，動弾性係数の低下はほとんどないことを明らかにしている。コンクリートの断熱温度上昇は高炉セメントの場合，初期では普通ポルトランドセメントの場合のその50～60%であり，10～15日で一定の差を保ちつつ最終安定温度に達し，セメント使用量 $225\text{kg}/\text{m}^3$ 場合の最終断熱温度上昇は約 30°C であり，普通ポルトランドセメントの場合より約10%低く，これはセメントの水和熱よりの計算値ともよく一致することを確認している。また比熱，熱伝導率，凍結融解抵抗性については高炉セメントコンクリートと普通ポルトランドセメントコンクリートとの間にはほとんど差がなかったことをのべている。

第2編はダム用高炉セメントコンクリートの打設，養生に関する施工上の問題について検討を加え，またこの研究成果の実施結果について記したもので，3章よりなっている。

第1章は寒中施工に関係するものとしてコンクリートの結氷と強度回復に関する実験結果について述べている。すなわち 4°C で打設されたコンクリートが急激な気温低下をうける場合を想定して実験を行ない，打設面より深さ 7.5cm を基準にとると，打設後1日で外気温が $-(4\sim 8)^\circ\text{C}$ に降下すればセメントの水和はほとんど進行せず2～3.5時間でコンクリート温度は 0°C となり結氷の危険の生ずること，したがってこれは単位セメント量が $160\sim 220\text{kg}/\text{m}^3$ 程度の差のコンクリート配合ではほとんど変わらないこと，さらに 4°C で1～3日養生後に結氷を生じるような低温にさらされた場合にも，その時間が5時間程度の短時間のときには，その後適当な保温養生により後時材令においてはかなり強度回復のえられることを明らかにしている。しかしマスコンクリートにおいては低温における強度の発現ないし回復が未だ十分でないときに，温度勾配による大きな温度応力が生じないよう保護施設をする必要のあることを強調している。

第2章は高炉セメントの初期の水和反応について考察し，高炉水サイがポルトランドセメントの水和生成物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ による刺激によって水硬性を発揮する状況過程をX線回析，灼熱減量，示差熱分析を用い，常温 (20°C) と低温 (4°C) とで比較検討している。すなわちポルトランドセメントおよびクリンカー含有量の異なる3種の高炉セメントを用い，X線回析により水和の進行に伴う $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成，クリンカー最高値 (C_3S) の変化を追跡し，高炉セメントではとくに温度の低い場合 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成が著るしくおくれること，クリンカー値は材令1～2日では常温度の50%以下であること，またこの傾向はクリンカー含有量の小さいほど著るしいこと，等を明らかにしている。さらに示差熱分析の解析によっても低温の場合水サイが未水和で残っていることによって上記事実を証明している。なお高炉セメントに $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を7%程度添加することにより低温でのモルタル強度を改良しうる可能性のあることを試験的に試みている。

第3章ではコンクリート打設面の初期材令時の炭酸化による脆弱化と実際ダム施工における水平打継

目の欠陥ないしひびわれの問題について検討している。高硫酸塩スラグセメント使用の際はいわゆる Absanden といわれる CO_2 作用による表面脆弱化がよく生ずるが、高炉セメント使用の場合も CO_2 の影響を受け易いであろうとの判断から、若干の実験的考察を行なうとともに、著者が施工の任に当たった大野ダムにおける結果を例にとり、ひびわれ発生の原因およびその発生状況について精細な検討を行ない、ひびわれは i) 低温打設後の温度変化、ii) 夏期打設の温度収縮応力、iii) 基礎岩盤の処理不良および水平打継目の処理不良、iv) その他により生じること、とくに水平打継目を永く放置した後表面脆弱層除去の処理が不足したり、打設前の撒水の不十分なときは明らかにひびわれの発生をみることをのべ、この処理作業の重要性を強調している。

第3編は上記研究結果を取りまとめるとともに、高炉セメントコンクリートによるダム施工において、コンクリートの打設、養生、水平打継目に関して遵守すべき施工基準をのべ、結論としている。

論文審査の結果の要旨

ダム本体のコンクリートに主として経済的理由により高炉セメントを利用する傾向は、わが国では昭和31年頃よりとみにさかんになり、高炉セメントコンクリートの物理的および化学的性質に関する研究も活発に行なわれたが、これはきわめて断片的かつ定性的なものが多く、実際のダム施工条件との関連において総合的に研究されたものはほとんどない。

本研究は高炉水サイ50%を含有したダム用高炉セメントを用い、ダム用に配合設計されたコンクリートを対象に、その工学的性質におよぼす施工条件の影響について詳細な実験的検討を加えたものである。高炉セメントコンクリートはとくに初期材令において普通ポルトランドセメントコンクリートにくらべ、強度が小さいことはよく知られた事実であるが、ダムのように単位セメント量の低いコンクリートについての従来の資料は必ずしも十分ではなかった。従ってポルトランドセメントコンクリートと同様な施工方法、施工条件において高炉セメントコンクリートにはひびわれ発生、打継目よりの漏水等の多くの欠陥を生ずることが多かった。このため著者は高炉セメントコンクリートについて実際の施工時温度 $4\sim 30^{\circ}\text{C}$ との関連において多数の実験を行ない、若材令低温時においては高炉セメントコンクリートの強度の発揮はきわめて小さく、普通ポルトランドセメントコンクリートのその30~50%にすぎないが、弾性係数では両者間にそれほど顕著な差はないことを確かめ、これが温度変形拘束等によるコンクリートのひびわれの発生が高炉セメントには生じ易い一原因であることを推論している。またコンクリート打設後の湛水養生は高炉セメントコンクリートの自由収縮量の減少、強度の増大にはより良好な影響を及ぼすこと、高炉セメントコンクリートの断熱温度上昇は初期では小であるが、単位セメント量 $225\text{kg}/\text{m}^3$ では最終温度上昇としてセメント水和熱よりの計算値とほぼ一致して 30°C に達すること、さらに冬期 $-(4\sim 8)^{\circ}\text{C}$ のような低温に2~3.5時間曝露されればコンクリート表面の結氷による品質劣化をきたすこと、等若材令における高炉セメントコンクリートの諸特徴を確かめている。その他の硬化コンクリートの性質、たとえば比熱、熱伝導率、凍結融解抵抗性については高炉セメントを用いた場合と普通ポルトランドセメントの場合にはとくに差はなく、これらの諸性質によるコンクリートの劣弱化は心配のないことも明らかにしている。さらに初期水和の進行状況におよぼす温度の影響についてX線回析、灼熱減量、示差熱分析等の方法

を用いて詳細な検討を加え、高炉セメントではとくに温度の低い場合、未水和水サイが多く残っており、また $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成等が著しくおくれ、たとえばX線回析によるクリンカー最高値 (C_3S) では材令1～2日では、 4°C の場合は 20°C の場合の50%以下であること等を確認、冬期コンクリート打設における保温処置のより必要なことを明らかにした。

つぎにコンクリート打設面が初期材令時の炭酸塩化により脆弱化し、実際ダム施工時の水平打継目の欠陥となることに注目し、若干の実験を行なうとともに、多くの実際ダムにおけるひびわれの発生の原因について詳細な検討を加え、打設後永く放置した表面脆弱層除去処理の不良と、継目打設前の撒水不足がひびわれ発生の有力な原因であることを確かめている。

これら研究結果をもとに樹立した施工基準にしたがい著者が施工した大野ダムにおいては、ひびわれ発生のきわめて少ない優秀な成果をあげたことはダム施工技術上高く評価されている。

要するに本研究は従来研究成果の乏しかった高炉セメントを用いたダムコンクリートの性質について、施工条件との関連性において一貫した実験的研究を行ない、有効な施工基準を確立したもので、工学上、実際上貢献するところが少なくなく、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。