

【討 議】

小玉克巳著 “高炉スラグのコンクリートへの利用に関する研究”
への討議

(土木学会論文報告集 第298号・1980年6月掲載)

▶討議者 (Discussion)——森島 修・大内千彦・綾亀一 (関東学院大学)・加藤清志 (防衛大学校)
By Osamu Morishima, Yukihiko Ouchi, Kiichi Aya and Kiyoshi Kato

著者の論文「高炉スラグのコンクリートへの利用に関する研究」を興味深く読ませていただきました。その内容は高炉スラグ粗骨材および細骨材の利用に関する広範囲な研究であり、省資源が問題となっている今日、材料部門において重要な位置を占めるものと思われます。

筆者らも高炉スラグ碎石およびこれを粗骨材として用いたコンクリートに関する研究^{14), 15)}を行っており、現在までに得られた結果をふまえて著者の論文を考察すると、(1) 骨材の強さがコンクリート強度へ及ぼす影響、(2) コンクリート強度を広範囲に考察する場合、強度の増加率は水セメント比 50, 60% の場合と同様に考えて適切であるかどうか、(3) 骨材の形状・きめがコンクリート強度へ及ぼす影響、等に関する問題点があり、これに対する補足が必要と思われます。

筆者らは、高炉スラグ碎石粗骨材自体の強度特性および水セメント比を 30~60%, 細骨材率を 35~60% と広

範囲に変化させ、空気非連行型高性能減水剤を適量使用した場合の高炉スラグ碎石コンクリートの強度特性に関する研究を行った。それによれば、著者の行った水セメント比 50, 60% の 2 種類のコンクリートに対してはまったく同様の結果が得られています。

次に、表-1 に示されている BS 40 tf (392 kN) 破碎率は約 30% であり、なお、爾見らの式¹⁶⁾よりその 10% 破碎値を推定すると約 14 tf (137 kN) となります。筆者らの実測値では 40 tf (392 kN) 破碎率は 28% で、また 10% 破碎値は 15 tf (147 kN) であった。これらの値はほぼ一致しているといえる。爾見らによると骨材の 10% 破碎値が 17 tf (167 kN) 以下の場合、モルタルの圧縮強度が 550 kgf/cm² (53.9 MPa) 以上になるとコンクリートの強度に骨材の影響が現われるとしている¹⁶⁾。したがって高炉スラグ碎石を用いたコンクリートでは骨材の影響が生ずることが推測できる。

筆者らの実験によると、コンクリートの相当モルタルの圧縮強度は図-16 に示すように、水セメント比約 37% 前後で 550 kgf/cm² (53.9 MPa) の圧縮強度が得られ、したがって水セメント比約 37% 以下のコンクリートにおいて骨材の影響が現われることになる。筆者らの行った高炉スラグ碎石コンクリートの実験では、図-17 に示すように水セメント比 45% 以下になると強度の増加率が小さくなることを確認した (図中の一点破線)。したがって、高炉スラグ碎石コンクリートの強度について考察する場合、ある程度広範囲な配合について検討する必要があると思われます。

また、筆者らの実験によれば ASTM 型ブリケット供試体を用いた骨材とモルタルとの付着強度試験の結果、表-15 に示すように、水セメント比 38% 以下では骨材破壊が生じ、45% においても約半数の供試体で骨材破壊が生じていることがわかる。しかし、水セメント比が 45% 以上の場合は付着界面で破壊が生じ、その付着強度はモルタルの引張強度の約 60% の値が得られた。天

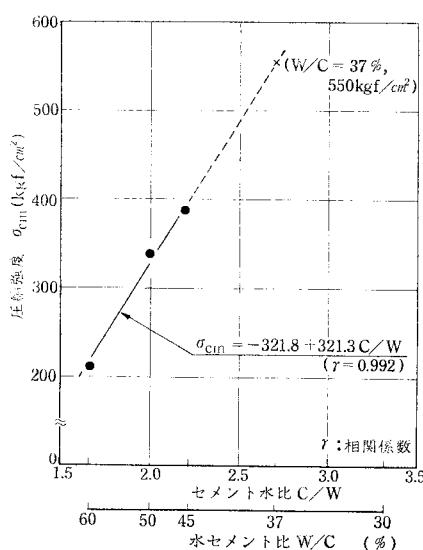


図-16 相当モルタルの圧縮強度とセメント水比との関係

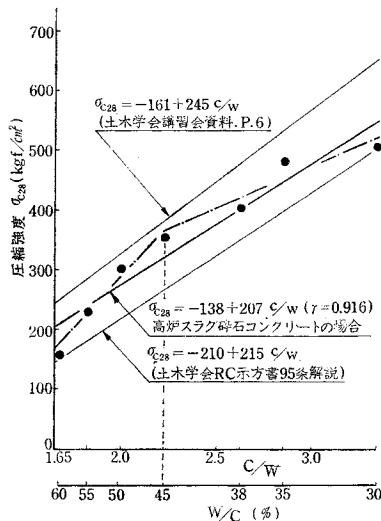


図-17 圧縮強度とセメント水比との関係

表-15 高炉スラグ碎石を用いた場合のモルタルの付着強度等

W/C (%)	破壊状況	付着強度 σ_{tb} (kgf/cm²)	モルタルの引張強度 σ_{tm} (kgf/cm²)	強度比 σ_{tb}/σ_{tm}
30	—	—	64.5	—
35	13個の全数が骨材破壊	—	71.2	—
38	—	—	65.5	—
45	5箇のうち3箇が付着破壊	31.0	61.9	0.500
50	—	32.4	54.8	0.591
55	15箇のうち13箇が付着破壊	31.1	46.8	0.665
60	—	23.3	41.3	0.564
65	—	24.6	35.9	0.685

然骨材を用いた付着強度は他の文献¹⁷⁾にもあるように約50%程度であり、高炉スラグ碎石を用いた場合には天然骨材を用いた場合に比し、約2割付着強度が増大することがわかった。

この付着強度の増大によって水セメント比45%以上のコンクリートでは高炉スラグ碎石を用いた方が強度的に有利であるが、一方、水セメント比が小さくなるにつれて付着が良好となり骨材のせい弱さによる影響が現れるので全体としてのコンクリート強度の増加率が小さくなるものと考えられる。なお、人工軽量骨材コンクリートの場合にも同様な傾向が認められている¹⁸⁾。

さらに、この付着強度の増大は、高炉スラグ碎石粗骨材の表面粗度に起因した結果と思われるが、骨材の表面粗度による影響を考察する場合、骨材の粒形そのもの(shape)と、気ほう孔などによる微細なきめ(texture)による2種類の影響が考えられる。

そこで、筆者らは高炉スラグ碎石をドバル試験機で破碎しないように表面のみを摩耗させた骨材(以下、摩耗

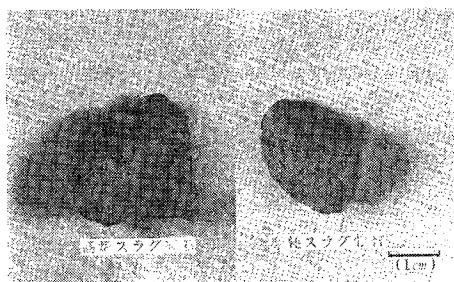


写真-3 摩耗スラグ骨材の比較

表-16 摩耗骨材の一般的性質

項目	高炉スラグ碎石	摩耗スラグ骨材
絶乾比重	2.54	2.55
表乾比重	2.46	2.47
吸水率	3.45 (%)	3.23 (%)
実積率	56.3 (%)	59.3 (%)
単位容積重量	1 371 kg/m³	1 422 kg/m³

表-17 摩耗骨材を用いたコンクリートの各強度

種別	圧縮強度 σ_{cB} (kgf/cm²)	引張強度 σ_t (kgf/cm²)	曲げ強度 σ_b (kgf/cm²)	引張強度比 σ_t/σ_{cB}	曲げ強度比 σ_b/σ_{cB}
高炉スラグ碎石	411	31.8	41.9	1/12.9	1/9.8
摩耗スラグ骨材	426	31.8	42.8	1/10	1/10

骨材と略記する)を粗骨材として用い、骨材の粒形がコンクリート強度へどのような影響を与えるかについて考察を加えた。

摩耗骨材の粒形を写真-3に、一般的性質を表-16に示す。これより摩耗骨材の実積率・単位容積重量は高炉スラグ碎石に比し大きくなり形状が改善されたことがわかる。摩耗骨材を用いたコンクリートの配合は単位水量を153 kg、水セメント比、細骨材率をともに45%と一定にし、空気非連行型高性能減水剤をセメント重量の0.6%使用した。このときの高炉スラグ碎石コンクリートのスランプは10.0 cmであるのに比し、摩耗骨材を用いたコンクリートでは13.5 cmとなった。この差は主として骨材粒形がワーカビリティーに及ぼした影響によるものと思われる。しかし、表-17に示すようにそれぞれの強度を比較すると大きな相違は認められなかった。したがって、付着強度が増大する支配的因子は気ほう孔などによる微細なきめに起因されるものと思われる。

以上のことから要約すると、水セメント比が低下することにより骨材とモルタルとの付着強度は増大するものの骨材自体のせい弱さに起因して、水セメント比が約45%以下、圧縮強度が350 kgf/cm²(34.3 MPa)以上になるとコンクリート強度の増加率が小さくなるものと思われます。したがって、著者が示したように水セメント比50%以上のコンクリートだけではなく、工学的観点

からさらに広範な強度範囲について検討を行うべきであると思われます。

参考文献

- 14) 森島・大内・綾・加藤：減圧処理された高炉スラグ碎石コンクリートの引張および曲げ強度特性に関する研究，セメント協会第34回セメント技術大会講演要旨，pp. 91～92，1980.5.
- 15) 大内・綾・加藤：高炉スラグ碎石を用いた高強度コンクリートの圧縮強度特性に関する基礎的実験研究，土木学

会第35回年次学術講演会講演概要集5, pp. 217～218, 1980.9.

- 16) 篠見・鷗谷：コンクリート用骨材の破碎値とコンクリートの強度，セメント・コンクリート，No. 235, pp. 11～16, 1966.9.
- 17) 加藤清志：プレーンコンクリートの付着ひびわれ発生機構に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，No. 235, pp. 99～109, 1975.3.
- 18) 村田・長瀧・菊川：土木材料II（コンクリート），共立出版，pp. 85～86, 1980.4.

▶回答者(Closure)――

小玉克巳(武藏工業大学)

By Katsumi Kodama

高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートについて広範囲にわたる実験を行っている討議者らに対し、敬意を表するとともに、著者の論文に対し、有意義なご討議をいただき深く感謝いたします。

まず著者の論文は、粗骨材の絶対容積を同一に伴って比較した実験ではなく、コンクリート中における高炉スラグ粗骨材の絶対容積は、川砂利の絶対容積の約90%であること、実験に使用した高炉スラグ粗骨材は、製造された日時が相当に古いものであるので、冷却方法、破碎過程の違い、ならびに生産時期によって品質に著しく差異のあったものであること、等を最初におことわりしております。

討議者らがご指摘の(1)の件については、著者の実験で使用した高炉スラグ粗骨材の破碎値が平均30.9%であり、爾見¹⁹⁾らの実験結果から10%破碎値を推定すると、ご指摘のように13.5tfの値となります。さらに爾見らの実験では、10%破碎値が17tf以下の場合、モルタルの圧縮強度が550kg/cm²以上でコンクリートの強度に骨材の影響が現われるとしておりますが、この実験では、粗骨材として10～13mmの単一粒分のものを用いたコンクリートの強度の影響を調べたものであります。高炉スラグ粗骨材は、粒径によってその物性が著し

く異なるものであります。表-18に著者が使用した高炉スラグ粗骨材の粒径別による比重および吸水率を示しておりますが、粗骨材は粒径によってその物性が異なることが認められます。すなわち粒径が小さくなるほど比重が大きくなります。このことは破碎過程において、内部の空隙に沿って割れるので、粒径が小さいほど内部の空隙が少なくなるためといわれています。さらに水セメント比65%の場合でもコンクリートの圧縮強度は高炉スラグ粗骨材の比重によって異なることも示されています²⁰⁾。また高炉スラグ粗骨材は、外部に露出した空隙の量、大きさが粒径が小さくなるに従って小さくなり、空隙のみられないものが多く存在します。著者が使用した高炉スラグ粗骨材は、最大寸法25mmのものであるので、粒径の違いが爾見らの実験と差が生じたものと考えられます。よって高炉スラグ粗骨材自身の強さがコンクリートの強度に及ぼす影響を考える場合には、使用する粗骨材の最大寸法ならびに粒度分布等も考慮する必要があると思われます。

(2)の件については、著者の実験で使用した高炉スラグ粗骨材3種類のうち、Aの高炉スラグ粗骨材を使用したコンクリートの強度がB、Cのコンクリートの強度と異なった傾向を示していますが、B、Cの高炉スラグ粗骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は、ご指摘のように水セメント比65%，50%で大差のない傾向を示しています。しかし引張強度については高炉スラグ粗骨材自身の強さが大きく影響を及ぼし、水セメント比65%，50%の範囲でも圧縮強度の場合と異なった傾向が認められます。これは引張強度試験では、全断面の粗骨材粒の強さが影響を及ぼすのであり、コンクリートの引張強度は、破断面に存在する最も弱い骨材粒の影響を大きく受けるためと考えられます。したがって圧縮強度を考える場合には、水セメント比を広範囲に考えることが必要であると思われます。討議者らのご意見をふまえてさらに検討したいと考えています。

(3)の件については、ご指摘のように、高炉スラグ粗

表-18 高炉スラグ粗骨材の粒径別による
比重・吸水率

粗骨材の種類	粒径(mm)	比重	吸水率(%)
A	25～20	2.45	3.81
	20～15	2.46	3.89
	15～10	2.53	3.94
	10～5	2.56	3.82
B	25～20	2.34	3.97
	20～15	2.33	4.23
	15～10	2.35	4.35
	10～5	2.43	4.40
C	25～20	2.38	2.95
	20～15	2.52	2.68
	15～10	2.55	2.68
	10～5	2.65	2.60

骨材の表面状態（形状、気孔、きめ）が付着強度に密接な関係があることは当然と考えられます。討議者らが行った研究において、加工粗骨材を使用したコンクリートの強度が未加工の粗骨材を使用したコンクリートの強度と同程度であることが示されており、さらに加工粗骨材を使用した場合には、粒は丸味を呈し、流動性もよくなることも示されています。一方、付着強度は、表面状態から考えると未加工粗骨材の方がよいものと思われます。しかし未加工粗骨材の粒自身の強さが弱いため、付着強度の大きくなることを軽減し、同一の強度となつたものと考えられます。高炉スラグ粗骨材の粒は、破碎過程において割れ、そのほか高炉スラグ粗骨材の弱い部分（形状の悪い）が破碎され、粒自身の強さが改良されるものと考えられます²¹⁾。加工高炉スラグ粗骨材の破碎値

が示されていませんが、破碎値は小さくなるものと思われます。討議者らの実験より高炉スラグ粗骨材粒自身の強さがコンクリートの強度へ及ぼす影響の方が、表面状態による付着強度がコンクリートの強度へ及ぼす影響より大きくなることが考えられます。著者も興味があります。

参考文献

- 19) 爾見軍治・嶋谷宏文：コンクリート用骨材の破碎値とコンクリートの強度、セメント・コンクリート、No. 235, pp. 11～16, 1966.
- 20) 吉田弥智・沼田晋一：高炉スラグ碎石のコンクリート骨材への利用に関する研究、セメント・コンクリート、No. 296, pp. 30～35, 1971.
- 21) 山本泰彦：粗骨材の形状ならびに表面性状がコンクリートの諸性質におよぼす影響、セメント技術年報、pp. 239～243, 1968.