

玉石コンクリートの圧縮強度に及ぼす玉石の影響に ついて (モルタルと石ボールによる実験)

堀 内 照 夫

I 諸 言

コンクリートの強度はコンクリートの中のセメントペーストと骨材の付着強度に起因することは明らかに知られているにもかかわらず、両者の間の付着強度に関する研究は国内ではほとんど行なわれていない。石材とモルタルの付着強度について実験し、その結果はすでに報告した。それによると石材とモルタルの付着強度は施工の方法によつて大きな差を示すが、一般的には同一示方のモルタルの引張り強度より劣ることが判明した。そしてこの結果は T. T. C. Hsu, F. O. SLATE の報告とほぼ一致している。また、K. M. ALXANDER の報告によると、石材とモルタルの付着強度は筆者の実験値より、大きい値が示されているが、これは実験に使用された材料が松脂岩、黒曜石、蛋白石などで国内では骨材として一般に使用されない特殊石材であるため比較にならないが、少なからず過大な強度ではないかと考える。更にこの付着強度はモルタルの水セメント比、材令によつて強度変化がきわめて少なく、また養生初期の乾燥、凍害によつて全く付着力を失つてしまう。したがつてコンクリートの強度を論ずる場合にはセメントペーストと骨材の付着強度を基礎にして考えることの必要性が痛感される。

一般にコンクリートに使用する程度の骨材であればその強度はセメントの強度より強いのが普通であり、特にもろい骨材を含まない限り骨材そのものの強度はコンクリートの強度に影響を及ぼさないのが通例である。またコンクリートの強度はコンクリートの最大密度に比例するといわれるとおり、大きな骨材を使用した方が全体としてのコンクリートの強度を高めることになるわけであるが、これは骨材とコンクリートの中のセメントペーストが完全に付着することが前提になつている。しかしながら骨材とセメントペーストの完全付着を図ることは施工の問題であつて、特別な施工方法を行なわないかぎり非常にむずかしいものとされている。すなわちその特殊養生は、コンクリートを打ち込む際に圧力を加えて締め固め、同時に余剰水分を排除し、更に煮沸養生をする方法であるが、これは一般のコンクリート施工において実用化は困難であろう。ここにコンクリートの中の過大骨材および玉石コンクリートの中の玉石の存在がコンクリートの欠点に指摘され、最近においては玉石コンクリートの施工を避けて純コンクリートにする傾向が強くなつている。

一方砂防ダム、道路の舗装ならびに擁壁、河川の護岸などについて、玉石コンクリートの需要分野は広く、更に全国的に骨材不足が訴えられている今日においては、玉石コンクリートに関する問題が提起される。このような考え方において、現在コンクリートの中の玉石およびコンクリートの中の過大骨材がコンクリートの強度に及ぼす影響について実験を行なつているが、その中の 1 部であるコンクリートの圧縮強度に及ぼす玉石の影響について検討した。

本研究を行なうにあつて懇切なる御指導をいただいた本学部辰野良秋教授に心からの謝

意を申しのべる。

II 実験方法

コンクリートの強度に影響する過大骨材および玉石の存在について、その大きさ、存在する位置および相互の間隔などの関係について実験を行なう場合、供試体の条件を同じにすることは非常に困難である。本実験はこの問題を考慮し、玉石の代わりに主としてボールミル用の磁製ボールを使用した。磁製ボールはその材料、および製造過程から、材質的にはフォルンヘルスに相当するものと考えられるが、表面の状態、形状は自然石に比較して平滑であり、球状であり過ぎるため、玉石の代用としては不適當であるが、条件を一様にするためには必要であると考え石ボールとして使用した。その他鉄ボール、セメントボール、粘土ボールについても実験を行なつた。なおこれらのボール類と、コンクリートの付着強度は、自然石を使用する場合に対して安全側にあると考えられる。本実験に使用した材料および実験方法はつぎのとおりである。

(1) 実験器具および材料

(イ) 試験機. 0.1~10ton アムスラー型万能試験機

40~100ton コンクリート圧縮試験機

(ロ) 型 枠. 圧縮試験用型枠はブリキ製 $\phi 6 \times 12$ cm および鋼製 $\phi 5 \times 10$ cm のものを使用した。

(ハ) コンクリート手練り用具一式

(ニ) ボール類

- 石ボール. 小川製機(株)製ボールミル用磁製ボール、径15, 18, 25, 30, 36, 45mmの6種類、25mm以下のものについては大きさ、形状について個体差があつたが、それ以上のものではほぼ同様であつた。
- 鉄ボール. 藤崎鉄工所(株)製の Grinding boll 25, 30, 35mmの3種類
- セメントボール. セメントを水セメント比0.3で十分練り混ぜたものを等量に分割し、手のひらにてボール状にし硬化させたもの。
- 粘土ボール. ベントナイトをセメントボールと同様に作成した。これらの形質については、石ボール程度に仕上げた。

(ホ) セメント. 電気化学(株)製ポルトランドセメント

(ヘ) 砂. 長野県三峰川産(材質は砂岩、石灰岩、結晶片岩の混合)の砂を水洗いし、48mm, 2mm目篩を通過させたもの。

(ヒ) 水. イオン交換樹脂を通過させた純水

(2) モルタルの示方配合

石材とモルタルの付着強度について行なつた実験の結果、材質の差によつて付着強度は異なるが、一般に使用されている骨材の間には大きな差は認められず、表面の状態による強度差は配合比が富になるに従つてその変動は非常に少ないことが示された。本実験においては配合比を1:2、水セメント比を0.4とした。

(3) 供試体の作製および養生

コンクリートは所定の材料について手練りによるから練りを十分に行ない、所要水量を2回に分けて加えながら練り混ぜ、型枠に打ち込んだ。供試体の数が多く同時に打ち込みができなかつたので打ち込み順序を同一処理の供試体に片寄ることを避け、更に絶えずこね返しを継続しながら行なつた。

円筒型枠の半分量をボールの大きさによつて加減しながら打ち込み、突き固めた後ボールが中央に位置するように入れて残量を打ち込み、突き固めて1個の供試体を仕上げた。供試体破壊後、ボールの位置を調べたところ、最初は一定しなかつたので、その後は特に丁寧に実施し適正を期した。

打ち込み後24時間は常温湿空箱の中に静置し、キャッピングを行ない、平均養生温度21°Cの水の中或は湿空中で養生し、1週間強度を測定した。なお打ち込み後48時間で型枠を脱した。この場合養生水槽に攪拌装置がなかつたので、時々手動にて攪拌した。

またコンクリートと石ボールの付着力が強度に及ぼす影響について吟味するため、石ボールへワセリン、粘土を塗布してコンクリートの中に打ち込み、またピンポン球を使用して実験を行なつた。

(4) 強度試験

所定の養生を行なつた供試体は、大部をアムスラー型万能試験機(0.1~10ton)で圧縮破壊させ、一部はコンクリート用圧縮試験機(40~100ton)を使用した。加圧速度は純コンクリート供試体について5秒前後(約80kg/秒)で破壊するようにバルブで調節した。

表1 玉石(自然石)と石ボールの圧縮強度(kg/cm²)

径(mm) 供試体	純コンク リ ー ト	玉石コンクリート		石ボールコンクリート	
		27~28	32~34	25	36
直 径 比		1.8~1.9	1.5~1.6	2.0	1.4
1	189	192	184	178	188
2	213	196	184	193	165
3	210	181	193	203	187
平 均	206	190	187	191	180
強 度 比	100	92	91	92	87

Ⅲ 実験の結果および考察

コンクリートに使用する骨材は、一般にはコンクリートの中のセメントペーストよりも圧縮強度が大きい材質のものを選定するのが通例である。したがつて骨材を十分に結合させるために、セメントペーストとの付着強度が完全に発揮されれば、コンクリートの強度は少なくともセメントペーストの強度を生ずるはずである。しかしながら、コンクリートの強度に影響をおよぼす因子は非常に多く、一つの因子だけでもその影響は大きい。良質のコンクリートは骨材とセメントペーストの付着力に負うところが大きく、更にこの付着力は条件因子の要求度が非常に小さいので、その規制が困難であると考えられる。したがつてコンクリー

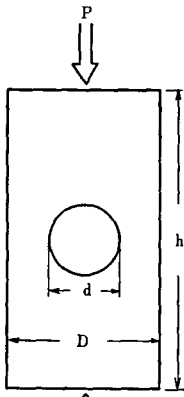


図1

トの一般施工における場合、骨材とセメントペーストの付着強度は十分に発揮されず、均一なコンクリートの施工が困難であると考えなければならない。先年の実験によると、玉石とコンクリートの付着強度は同じ配合のコンクリートの引張り強度よりも小さいと推定された。ここでは一般骨材とセメントペーストの付着力が、コンクリートの強度にどのように影響するかを究明する前の基礎的な問題として玉石コンクリートの中の玉石について考える。この場合つぎのような仮定を設けた。

玉石コンクリートの中のコンクリートは一樣であつて、玉石に隣接するコンクリートの強度は玉石の入らない部分のコンクリートの強度に等しいが、玉石とコンクリートの付着強度が小さいため、玉石の強度が劣ることになると考える。したがつて玉石コンクリート全体としての強度は玉石の入らない部分のコンクリートの強度と玉石の強度との和に等しいと考えることができる。このように考えると、玉石コンクリートの強度は、コンクリートの円筒供試体の径と

玉石の径との比によつて定まる。図1において

F_0 : 純コンクリートの強度 (玉石を含まないコンクリート)

F_a : コンクリートとの付着力を加味した玉石の強度

F_m : 玉石コンクリートの強度

$\frac{D}{d} = x$: 直径比

$\frac{F_m}{F_0} = y$: 強度比

$\frac{F_a}{F_0} = a$: 付着強度係数

とすると

$$\begin{aligned} F_m &= \frac{P}{\pi D^2} = \frac{F_0 \pi (D^2 - d^2) + F_a \pi d^2}{\pi D^2} = \frac{F_0 (D^2 - d^2) + F_a d^2}{D^2} \\ &= F_0 \left(1 - \frac{1-a}{x^2} \right) \\ y &= \frac{F_m}{F_0} = 1 - \frac{1-a}{x^2} \end{aligned}$$

a は前述のとおり玉石コンクリートの中の玉石が不完全付着その他の原因によつて玉石のまわりのコンクリートの品質が低下し、そのために玉石そのものの強度が小さくなると考えるもので、付着強度係数といい玉石とコンクリートの付着力によつて異なり、実験の結果から求められる。

この式は、 $x^2(y-1) = -(1-a) = \text{常数}$ となるから、強度比と直径比の関係は、直角双曲線で表わすことができる。実験の結果に基いてこの関係を吟味する。一樣に作成したコンクリートの円筒供試体の破壊は、図2のように滑落破壊するのが通例である。したがつ

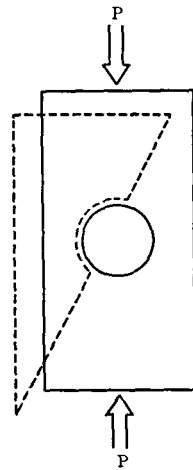


図2

表2 純コンクリートと玉石コンクリートの圧縮強度 (kg/cm²)
(玉石が供試体の上部にある場合)

径(mm) 供試体	純コンク リート	玉石コンクリート				
		18	25	30	36	45
直径比		3.3	2.4	2.0	1.7	1.3
1	312	326	319	310	288	312
2	301	326	315	315	313	309
3	310	296	316	313	303	307
4	322	316	317	310	314	307
平均	311	316	317	312	305	309
強度比	100	102	102	100	98	99

て圧縮強度を低下させる欠点，この場合玉石がその中央部分にあればそれだけ早く破壊するが，玉石が中央からはずれたところに位置する場合には，表2のように強度の差は認められなかつた。以下円筒供試体内のボールはすべて中央部分に位置するよう供試体を作成した。

玉石コンクリートの強度は，理論的には供試体の径と玉石の径との比（直径比）によつて定まり，玉石の材質による差は，玉石とモルタルの付着強度係数によつて表わされるということとは前に述べた。この場合玉石の材質による付着力の差は別に実験していないので明確に示すことはできないが，セメントボールとモルタルの付着力が最も大きく，石ボール，鉄ボール，石ボールヘワセリンを塗布したものの順に付着力は小さくなるものと考えて実験を進めた。また本実験においては，玉石コンクリートの1週間強度を測定し比較したもので，粘土ボールを除く他のボールは部材であるモルタルそのものの強度よりはるかに大きな強度をもつものであつた。粘土ボールは，付着力においても，ボールそのものの強度においても前三者とは比較にならない程弱いもので，筆者は空洞ができた場合のことを想定して実験を行なつた。実験は前述のとおり手製のブリキ製円筒型枠（30個）およびJIS円筒型枠（15個）によつて供試体を作製し，1つの処理について3～5個の供試体を作り，圧縮強度はその平均値を採用した。この場合供試体作製にあつては，型枠の数に限度があつたので，すべてを同時に作製することができなかつた。そのため各回の試験ごとにボールを入れずに純コンクリート供試体3～5個を同時に作製し，その時の純コンクリートの圧縮強度との比で示した。表3はセメントボールを使用した場合の直径比と強度比の関係である。セメントボールは

表3 純コンクリートと玉石コンクリートの圧縮強度比
玉石の種類：セメントボール 表面の状態：平滑

試験	直径比	3.6	2.6	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
No.1		101	96	—	—	87	—	97	—
No.2		—	93	—	98	—	95	—	105
No.3		—	—	97	95	96	—	90	—

- 注 1. 供試体の数：4～5
2. 純コンクリートの強度：100

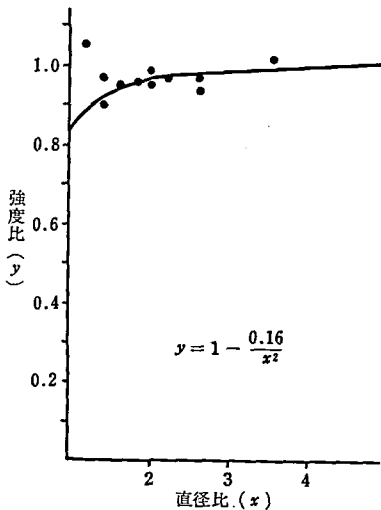


図3 玉石コンクリートの圧縮強度
(セメントボール)

本実験に使用する1週間前にポルトランドセメントを水セメント比0.3で良く練り混ぜ、0.1gまで読むことのできる上皿天秤にて等量に分割し、手のひらで丸めてボールとし、24時間常温で養生した後実験に使用するまで常温水中にて養生したものである。形質については均一な球形にすることはできなかつたが、市販の石ボールとほぼ同程度のボールに仕上げた。

実験の結果によると、玉石コンクリートと純コンクリートの強度比は、セメントボールの直径比を1.2~3.6に変化させても大きな変化を示すことなく、純コンクリートの90%以上の強度を示した。このことはセメントボールは部材と同一材料であるため、その親和付着力が大きいので施工の面からは玉石コンクリートと全く同一であるが、実質的には純コンクリートと変わらないため、玉石コンクリートとしてその強度の低下する割合が少

なかつたものと考えられる。コンクリートの打継目施工において、既設コンクリートの表面を削り取り、その跡へモルタルを敷いて新しいコンクリートとの打継ぎを強化する方法が行なわれているが、この実験の結果もこのことを明らかに示している。しかしながら、いかに同一材料であつても同じ条件で仕上げられていないこと、ボールの表面と新しいモルタルの付着も完全ではないという点で欠点となつていないことは否定できない。これを回帰曲線式に適用すると、式の中の付着強度係数は0.84で1に近いが前述の欠点を定量的に示している。図3は今得られた曲線式 $y = 1 - \frac{0.16}{x^2}$ による曲線に実験値をプロットしたものである。実験の数が少なく、測定値のバラツキも大きい、このことはその他の場合も同様であつてその原因は明確にすることは非常に困難である。細心の注意力のもとで慎重に作製した供試体ではあるが、試験の結果は一様性を欠いた。この点がコンクリートの特徴の1つでもあり、均質なコンクリートの施工に困難性が伴うわけであつて、数多い試験によつて妥当性を高める以外に方法はないのではないかと考える。この点この結果は、数量的に必ずしも満足できるものではないが、一つの段階として結論を導いたものである。これによると、供試体用円筒の直径と同じ直径のセメントボールを中心に置いた玉石コンクリートでは、純コンクリートの圧縮強度の84%の強度が期待できることを示し、直径比1.8以上のものを使用すれば、純コンクリートの強度の95%以上が期待できることを示している。

表4は石ボールを使用した場合の結果である。石ボールはボールミルで約30分間、回転摩擦させて不純物を除去して使用したもので、表面の状態は平滑に過ぎ、自然石の表面とははなはだしくその状態を異にすることになつたが、コンクリートとの付着力はある程度發揮しうる状態を示したものである。これにより先に、自然石と石ボールの近似したものを比較したところ表1のように、ほとんど差異を認めなかつた。これだけの比較で石ボールと自然石が同一結果を生ずるといふ断定はできないが、一応の目安にはなりうる。このよう

表4 純コンクリートと玉石コンクリートの圧縮強度比
玉石の種類：石ボール 表面の状態：平滑

試験 \ 直径比	4.0	3.3	2.4	2.0	1.7	1.4	1.3	1.1
No.1	92	—	—	92	—	—	63	—
No.2	—	—	104	90	74	—	—	—
No.3	—	96	—	87	—	—	79	—
No.4	97	—	—	99	—	—	98	—
No.5	—	91	—	86	—	81	—	71

注 1. 供試体の数：4～5
2. 純コンクリートの強度：100

表5 純コンクリートと玉石コンクリートの圧縮強度比
玉石の種類：鉄ボール 表面の状態：平滑

試験 \ 直径比	1.9	1.6	1.4
No.1	83	84	83
No.2	87	86	84
No.3	85	77	76

注 1. 供試体の数：4～5
2. 純コンクリートの強度：100

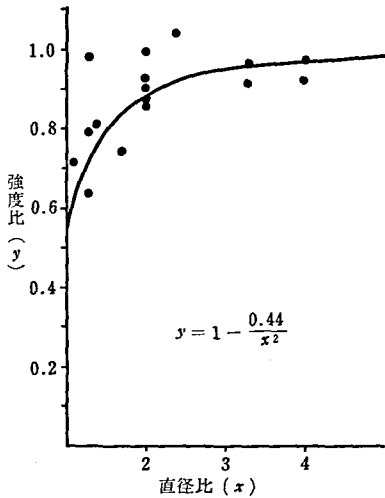


図4 玉石コンクリートの圧縮強度 (石ボール)

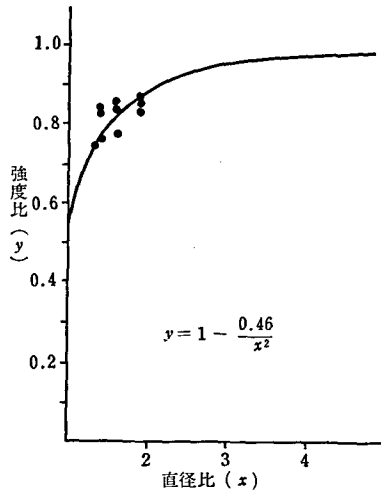


図5 玉石コンクリートの圧縮強度 (鉄ボール)

な考え方で石ボールの結果を考察すると、前のセメントボールに比較して、玉石とコンクリートの付着力は劣っていた。石ボールの場合の回帰曲線式は図4であり、 $y = 1 - \frac{0.44}{x^2}$ で付着強度係数は0.56であつた。

表5は鉄ボールを使用した場合の結果である。鉄ボールはその直径が26, 31, 37mmの3種類について実験したのであるが、石ボールの場合と同じような結果を示した。表5を回帰曲線式に適用したものが図5である。石ボールと鉄ボールでは、付着強度係数は変わらず、0.56, 0.54であつた。骨材とコンクリートの中のセメントペーストの付着力についての研究はあまり行なわれず、従来は鉄筋とコンクリートの付着力についての研究結果が標準とされ利用されて来たのであるが、この結果からその妥当性を認めることができる。今まで考察してきた範囲内だけからしても、コンクリートの中の骨材とセメントペーストの付着力の大きさがコンクリート全体の圧縮強度に大きく影響することが明らかに示され、付着力に関する研究の必要性を痛感するものである。石ボールおよび鉄ボールとコンクリートの付着力についてはほとんど同程度であること、およびこれらをコンクリートの中に打ち込んだ玉石コンクリートの強度に差を示さなかつたことは前にも述べたが、この場合における玉石コンクリートの強度についてはつぎのことが考えられる。すなわち玉石コンクリートの強度を純コンクリートの強度の95%以上を発揮させるための条件は、直径比を3以上、つまり、円筒の直径の1/3以下の玉石を使用すれば良いといふことができる。

表6は石ボールとコンクリートの付着力を更に小さくするために、石ボールの表面へワセリンを塗布して実験したもので、一般的には付着力0の場合の実験結果である。コンクリートに使用する骨材の条件のなかで、その表面に土、その他不純物が付着してはならないことは、実際の工事において特に注意が払われているのであるが、本実験の結果によると、この点に関しては更に別の考え方をしなければならぬ傾向を示した。石ボールへワセリンを塗布して玉石コンクリートを作製し、実験に先立つて、ある程度その結果を予測したが、結果は予測の範囲をはるかに越えたものであつた。ワセリンを塗布する場合少しでも塗布されない面が残らないように十分に塗布して実験を行なつたのであるが、強度の低下する割合は意外に軽小であつた。すなわち付着力のある石ボールコンクリートの強度よりは小さく、また

表6 純コンクリートと玉石コンクリートの圧縮強度比
玉石の種類：石ボール 表面の状態：ワセリン塗布

試 験	直径比	直径比							
		4.0	3.3	2.4	2.0	1.7	1.4	1.3	1.1
No. 1		89	—	—	96	—	—	70	—
No. 2		—	—	82	70	81	—	—	—
No. 3		—	104	—	91	—	—	66	—
No. 4		91	—	—	86	—	—	74	—
No. 5		—	100	—	85	—	77	—	60

- 注 1. 供試体の数：4~5
2. 純コンクリートの強度：100

付着強度係数も0.37で石ボール、鉄ボールの付着強度係数0.56より小さくなっているが、実験値の中には純コンクリートよりも大きな強度を示したものがあつて、これまでの説明およびコンクリートの複雑性だけでは解決できない問題があるのではないかと考えられる。これは圧密打ち込み、煮沸養生にこの問題の解決点があるのではなかろうかと考え、別の実験によつて明らかにする。

図6はこの実験結果から導いた回帰曲線であつて、 $y = 1 - \frac{0.63}{x^2}$ が得られた。そして石ボールとコンクリートの付着力は0であるが、付着強度係数は0.37であつた。このことは现阶段において、つぎのように考えている。すなわちコンクリートの中の玉石はそのコンクリートとの付着力が無視されるような状態でも緊密に接することによつて応力の一部を負担しうるものである。この場合、石ボールの直径がコンクリートの円筒供試体の

1/4以下になれば、純コンクリートの強度の95%が期待できることになり、玉石コンクリートの中の玉石が付着力を欠いても、直径比が4以上であれば重大な欠点にはならないということができる。もつともこの考え方は、圧縮応力を受けるコンクリートについていふことで、引張り応力を受ける場合については別の問題であつて、部材と玉石の断面係数比に関係することが考えられるので、曲げ破壊係数に及ぼす玉石の影響については別に報告する。

表7は、粘土ボールを使用した場合、つまり玉石そのものの強度がコンクリート部材の強度よりも小さい場合の結果である。玉石とコンクリートの付着力がない場合については前に述べたが、更に考察するとつぎの2点について考えなければならない。その一つは、玉石とコンクリートが全然付着しないが、密接している場合と、付着力はあるが何らかの原因によつて玉石と硬化コンクリートの間に空隙を生ずる場合である。前者は玉石の表面が粘土その他の不純物で汚れている場合に起りうることであり、後者はコンクリートを打ち込んだ直後に

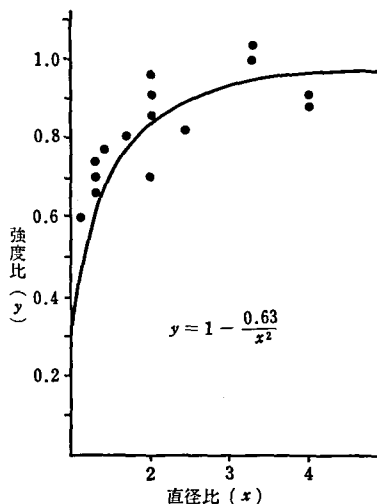


図6 玉石コンクリートの圧縮強度
(付着力のない石ボール)

表7 純コンクリートと玉石コンクリートの圧縮強度比

玉石の種類：粘土ボール 表面の状態：粘土

試験	直径比	3.3	3.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.4	1.3	1.1
No.1		88	—	—	—	59	—	36	—	12
No.2		—	—	—	—	—	—	32	30	—
No.3		—	80	—	59	—	43	—	31	—
No.4		—	—	52	—	43	34	34	—	—

注 1. 供試体の数：4~5

2. 純コンクリートの強度：100

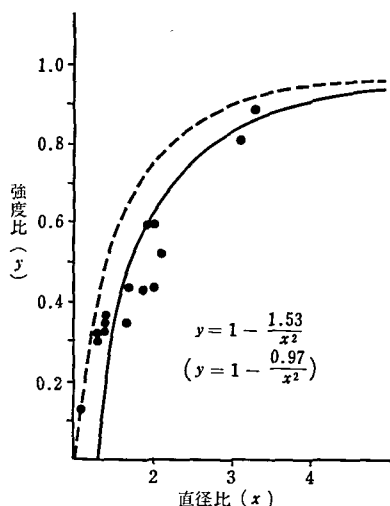


図7 玉石コンクリートの圧縮強度
(粘土ボール)

が得られた。理論的には付着強度係数 $a = \frac{F_a}{F_0}$ はその他のボールと比較して F_a が0に近いから同式は $y = 1 - \frac{1}{x^2}$ になるわけであるが、実験式は不合理な結果であつた。図7の点線は、粘土ボールの直径を20%大きくして計算したもので、このように補正すれば理論値と一致するようになる。このことは粘土ボールをコンクリートの中に打ち込むと、粘土ボールはその他のボールと質的に全く異なつてゐるので、表面の粘土がコンクリートの中の水分にとけ込んで、ボールの周りのコンクリートの品質を著しく低下させることになり、最初の直径より大きなものを入れた形になつて、コンクリートの強度もそれだけ小さくなつたものと考えれば、このような補正も成立するはずである。しかしながら、粘土ボールがコンクリートの中に入ったために、その直径の20%の部分の品質が悪くなつたということは別に確認していない。したがつてこの場合、特に応力集中による差があらわれたものと考えなければならない。この応力集中によるところの応力の不等分布は、その他のボールの場合においても直径比2以下の場合には極端な集中応力を受けることになつて、一様な応力の何倍かの応力を受けることになるのであるが、理論値が得られていないので、その差を示すことができないだけであるとする。また粘土ボール以外では、ボールそのものの強度が周辺のコンクリート強度より大きいので、応力集中による供試体の破壊はある程度緩和されたと考えられることができるが、粘土ボールではその影響がかなり大きなものであつたと考へている。

IV 要 約

一般に玉石コンクリートは、純コンクリートと比較して強度が劣り、施工も煩雑であるという点で敬遠されている。しかしながら優れた面も多いので欠点を補つて実用化を高めることの必要性が痛感される。この実験は玉石コンクリートの強度について玉石とコンクリートの付

凍害を受けて玉石の周りの皮膜水が凍結し、コンクリートと玉石が遊離してしまうような場合に起りやすい問題である。このときの空隙が大きくなれば、この玉石コンクリートは玉石大の空洞をもつたコンクリートになつて強度は著しく低下する。そしてこの空隙の大きさの限界はコンクリートのヤング係数に関係する。表7はこのような考え方で実験したもので、石ボールの表面へ1~2mm程度の厚さに粘土を塗布し、あるいは粘土ばかりでボールを作製し、またピンポン球およびピンポン球の中へ石ボールを入れて行なつた。この結果は、ピンポン球を空洞と見なした場合と同じ傾向が認められたので空洞の場合として考察した。玉石とコンクリートの空隙の限界については別の実験によらなければならないので、この問題には触れていない。前と同様にして回帰曲線に適用すると、付着強度係数は-0.53となつて、 $y = 1 - \frac{1.53}{x^2}$

着力および玉石の大きさを変えて実施しその影響を考察した。要約するとつぎのようである。

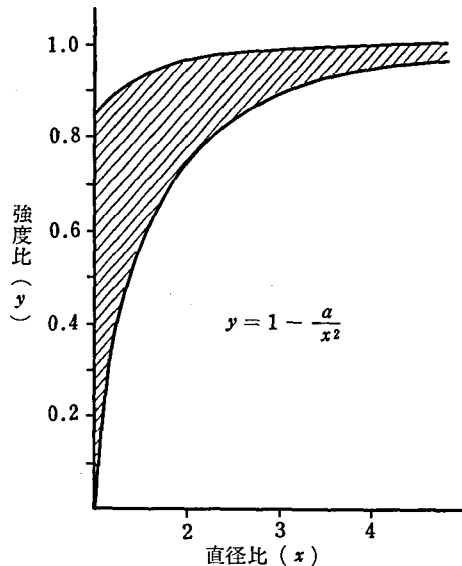
- (1) 玉石とコンクリートの付着強度がコンクリートの引張り強度と同程度であれば、玉石コンクリートの圧縮強度は純コンクリートの強度と同程度である。
- (2) 付着強度が減少するに従つて、玉石コンクリートの強度は減少する。
- (3) 玉石とコンクリートの付着力がわずかでも、玉石が周辺の部材と密接していれば、その玉石に荷重を負担させることが期待できる。
- (4) 玉石の直径を供試体円筒の直径に比較して小さくすれば影響のあらわれる程度は非常に小さくなる。
- (5) 玉石とコンクリートが遊離し、玉石の周辺に空隙が生ずると、その部分は大きな空洞になつて、応力の集中を受けるので著しく強度を低下し、コンクリートの重大な欠点になる。
- (6) 玉石コンクリートと純コンクリートの強度比 (y) は、供試体円筒と玉石との直径比 (x) および玉石とコンクリートの付着力を加味した玉石の強度と純コンクリートの強度比 (a = 付着強度係数) によつて支配される。しかしてこの関係は、つぎのように直角双曲線で表わされる。

$$y = 1 - \frac{1-a}{x^2}$$

ここで上式に代入すべき a の値はつぎのとおりである。

玉石の種類	a の値
モルタルボール	0.84
石ボール	0.56
鉄ボール	0.54
付着力のない石ボール	0.37
粘土ボール	-0.53

以上を更に約言すれば、玉石コンクリートの圧縮強度は、玉石の品質および円筒と玉石との直径の比に応じて、つぎの図のハッチ内に含まれることになる。



V 結 言

玉石がコンクリートの圧縮強度にどのような影響をおよぼすかという問題について検討した。しかしながら本実験に使用した材料が実際に使用されている自然の玉石でないこと、供試体を作製するための型枠についても特別に考慮を払わなかつたことなどから、小粒径のボールを使用した場合には、玉石の配合割合が少なくなつて、玉石コンクリートというよりむしろコンクリートの中に過大骨材が存在するときの骨材の影響を考えたような結果になつてゐる。また玉石そのものの強度が部材コンクリートの強度より劣る場

合については、その玉石の大きさに相当する部分が大きな欠点になることは言うまでもないことであつて、空洞ができる場合にその欠点は最大に達するが、本実験ではこれらの部分を実施していないので、今後はこの面の研究を進めると同時に、コンクリートの中の玉石と曲げ破壊係数の関係は、部材と玉石の断面係数比により、また部材の中における適正な玉石間隔の推定も可能であると考えられるので実験を継続している。

参 考 文 献

1. 堀内照夫 (1964) : 石材とコンクリートの付着強度について 新砂防 52
2. Thomas T. C. Hsu and Floyd. O. SLATE (1963) : Tensile bond strength between aggregate and cement paste or mortar Jour. A. C. I.
3. K. M. ALEXANDER (1959) : Strength of the cement-aggregate bond Jour. A. C. I.
4. 近藤泰夫 : 坂静雄編 (1957) : コンクリートハンドブック 朝倉書店
5. 近藤泰夫訳 (1953) : コンクリートマニュアル 国民科学社
6. 吉田徳次郎 (1957) : コンクリートハンドブック 養賢堂
7. 吉田徳次郎 (1940) : 最高強度コンクリートの製造について 工学大会講演集
8. 森 徹 (1937) : 木材の圧縮強度におよぼす節の影響に関する研究 建築学会大会論文集
9. 国分正胤 (1950) : 新旧コンクリートの打継目に関する研究 土木学会論文集
10. 狩野春一 (1932) : コンクリートの打継部付着強度に関する研究 建築学会論文集

Effects of Cobble Stone on the Compressive Strength of Boulder Concrete (by Mortar and Chinese Ball)

By TERUO HORIUCHI

Summary

The effects of cobble stone on compressive strength of boulder concrete are observed using chinese ball and mortar as a model.

The results are summarized as follows:

- 1, The strength of boulder concrete is equal to pure concrete, if bond-strength between stone and mortar is similar to tensile strength of concrete.
- 2, The strength of boulder concrete increases with decreasing bond-strength between stone and mortar.
- 3, It is expectable that the cobble stone absorbs the load, if the stone connects with surrounding materials without any gap even poor bond-strength.
- 4, The influence of cobble stone diameter on the strength of boulder concrete decreases in proportion to the ratio of the test cylinder diameter to the cobble stone diameter, x .
- 5, If a gap rises in stone surface because of poor connection with mortar, the strength of the concrete decreases. It is suggested that the stress concentrates on the gap.
- 6, The ratio of the boulder concrete strength to the pure concrete strength, y , is shown by the function of the ratio x .

$$y = 1 - \frac{1-a}{x^2}$$

Here, a is a constant in variable number by a sort of cobble stone, and is the ratio of the stone strength to the concrete strength. The value of constant a is given as follows:

sort of ball	a
mortar ball	0.84
chinese ball	0.56
iron ball	0.54
chinese ball without bond-force	0.37
clay ball	-0.53

It is concluded that the compressive strength of boulder concrete is given in hatch of following figure as the surface roughness of cobble stone and the diameter ratio x .