

再生骨材・再生骨材コンクリートのJIS化

河野 広 隆

2005年3月20日にJIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」が制定された。コンクリート解体材を砕いて造った再生骨材の有効利用に関しては、わが国では長い間研究がなされてきたが、JIS化されるのは初めてである。ここではまず、このJISに到るまでの再生骨材に関する研究の経緯、再生骨材を用いたコンクリートの品質の概要を述べる。次に、制定されたJIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」と、2005年度にJIS化が予定されている「再生骨材 Lを用いたコンクリート再生骨材」のJIS案の概要とそれらの審議過程で問題となった事項を紹介する。

キーワード：再生骨材，コンクリート解体材，再生骨材コンクリート，JIS，副産物

1. はじめに

わが国では1960年代まではコンクリート用骨材として河川産の砂利、砂が多用されていた。しかし、資源の枯渇や河床への影響などから、次第に河川産の砂利、砂の採取が制限され、砕石や海砂等が使われるようになった。さらにここ数年では海砂の採取も大幅に制限されるに到っている。そうした背景から骨材資源の有効利用や再利用の必要性が叫ばれるようになってきている。

一方、わが国のコンクリート分野では、コンクリート構造物の解体に伴って発生する解体材を処理し、再生骨材としコンクリートに再利用する研究が、既に30年以上前から始まっている。最初は建築分野で検討が始まり、その後も2度にわたる旧建設省の総合技術開発プロジェクト（通称、総プロ）をはじめとして、土木・建築分野のいくつもの大小のプロジェクトや研究・技術開発がなされている。

1994年には旧建設省から「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）」の通達¹⁾が出され、その後、社団法人日本コンクリート工学協会（JCI）で再生骨材の規格化が検討され、その成果がJISの標準化情報の形となって、TR A 0006「再生骨材を用いたコンクリート」が2000年に制定されている²⁾。

また1990年代から、例えば新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）助成事業で行われた再生骨材の高度処理技術の開発³⁾などの技術開発が進み、

一般骨材と比較して遜色のない程度まで再生骨材を実用的に処理できる技術も出現してきた。

このような背景から、JCIでは平成14年から経済産業省からの委託を受け、再生骨材のJIS化の検討を行ってきた。その成果の一部として、2005年3月20日にJIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」が制定された。また、近々、「再生骨材 Lを用いたコンクリート再生骨材」のJISも制定される予定である。

ここでは、再生骨材に関する研究の経緯と、JIS A 5021の概要と審議過程で問題となったこと、現在検討されている他のJIS案についても紹介する。

2. 再生骨材利用の研究の経緯と方向

日本では約30年前からコンクリート副産物の再利用に関する研究が始まった。最初は建築分野で検討が始まり、早くも1977年には再生骨材の規格について日本建築業協会案⁴⁾が出されている。

その後も、筆者が直接関連する大型プロジェクトだけでも、総プロの「建設事業への廃棄物利用技術の開発」（1981-1985）⁵⁾と「建設副産物の発生抑制・再利用技術の開発」（1992-1996）⁶⁾がある。

その他にもいくつもの大小のプロジェクトや研究・技術開発がなされている。関連する学会の発表論文件数などを見ても膨大な量の研究がなされているのがわかる。

しかしながら、コンクリート副産物の再利用の形態を見ると、ここ数年の再利用率は9割を超えているが、その多くは路盤材などの用途に限られている。研究の

対象がほとんど「コンクリートからコンクリートへ」であるのに、実際の利用形態はそうはなっていないのが実状である。これには多くの理由がある⁷⁾が、ここでは割愛する。

過去のコンクリート副産物利用に関する研究・技術開発の目指す方向を大きく分けると、次のようになるのではないかと考える。

- ① 再生骨材および再生骨材を用いたコンクリートの基礎物性の把握
 - ② 良質の再生骨材を製造するための技術開発
 - ③ 配合や混和剤、練り混ぜ方法などにより、再生コンクリートの品質を向上させる技術開発
 - ④ リサイクルを前提にした材料使用法や完全リサイクルを目指す技術開発
 - ⑤ ダウンリサイクリングを基本とする技術開発
- 上記の内、リサイクルの形態がどのような方向に向かうと、①は必ず必要な研究である。扱うものの性質を知らないことには、その利用戦略も作戦も立たない。

②～⑤の技術開発はそれぞれ目指す方向が異なる。それぞれの使い方については一長一短があり、現状ではどの方向がよいとか悪いとかは判断できない。コンクリートの原材料資源の状況やコンクリート副産物の発生量、コンクリート需要の変化、他の建設資材の需要、社会情勢、特に環境に関する世論、関連法律や基準類での取扱い方等々によって、再利用の最善の方向は変化すると考えられる。

3. 再生骨材の特性とそれを用いたコンクリートの品質

解体したコンクリート塊を砕き骨材状にすると、再生粗骨材は元の粗骨材にモルタルが付着したものとモルタル塊で構成され、再生細骨材はモルタル塊あるいは元の細骨材にセメントペーストが付着したもので構成される。再生粗骨材の品質は付着モルタル量と深い関係があり、付着モルタルが多いほど、元の粗骨材より品質が劣る。再生細骨材も同様である。付着モルタルや付着セメントペーストの量は、再生骨材の吸水率と非常によい相関があるため⁸⁾、吸水率が再生骨材の品質を表す有力な指標となる。後述する JIS 案でも吸水率が骨材の品質項目となっている。

再生骨材を用いたコンクリートの特性を見ると、元の骨材が川砂利・川砂の場合は、再生骨材を用いたコンクリートでは単位水量が増える傾向にあり、その結果収縮量が増える。元の骨材が碎石の場合は、再生骨

材が処理の段階で丸くなるため、単位水量が減ることもある。

再生骨材を用いたコンクリートの強度は、原骨材を用いた場合に比べ、若干落ちる傾向にあり、特に高強度が出にくくなる。また、ヤング率も小さくなる。しかし、通常は強度のことはあまり問題とはならず、実用上の問題となるのは凍結融解耐久性が極端に落ちる場合があることである。また、強度は、例えば普通骨材と混合することにより改善されるが、耐久性については、骨材を混合しても耐久性は弱い骨材に支配されるため、改善されにくい。

このため、再生骨材を用いたコンクリートでは、耐久性に特に配慮した使い方が必要となる。こうした情報は 2005 年 6 月出版の土木学会コンクリートライブラリー 120⁹⁾ の付属資料に詳しく示されているので、参考にされたい。

4. 再生骨材処理方法の技術開発と問題点

再生骨材を用いたコンクリートの耐久性を上げるためには、再生骨材の処理程度を高めればよい。このため、あまりコストをかけずに、一般に生コンに使用されている骨材に極めて近い状態まで処理する方法がいくつも検討されてきた。ここ数年で、実用的なレベルまで達した処理機械も開発され、例えば「コンクリート再生材高度利用研究委員会」¹⁰⁾ のような組織も作られて、事業化が検討されている。

この場合、いくつかの制度的な問題や技術的な問題をクリアしなければ、真の意味の事業化にはつながらない。

まず制度的なものとしては、通常の JIS レディーミクストコンクリート（以下、生コンと略す）に使われる骨材は、JIS の規格の品質を満足しなければならないことがあげられる。川砂利や川砂は JIS A 5308 「レディーミクストコンクリート」の附属書の規定、碎石は JIS A 5005 の規定で品質が規定されている。このほかにも構造用軽量骨材やスラグ骨材についても JIS が定められている。

こうした JIS 以外の骨材を用いると、生コンは JIS 製品ではなくなる。建築基準法では構造部材に用いる生コンは JIS 製品でなければならないとしていて、再生骨材を用いると個別に大臣認定をとる必要がある。再生骨材をいくら高度に処理して JIS A5308 の附属書の品質を満足するようにしても、JIS 品ではないので、事実上 JIS の生コンには使えないという状況にある。

これを解決するには、いくつかの方法がある。例えば、JIS A 5308 の附属書の規定を変える、あるいは新たに再生骨材の JIS を制定する、といった方法である。今回、JCI で検討し JIS 化した JIS A 5021 は、後者の方針に則ったものである。

このほかにも、廃棄物処理関係の規定などいくつかの制度的な問題もあるが、ここでは省略する。

技術的な問題としては、改良された処理機械を用いてもやはり、処理程度を高めるほど多くのエネルギーを消費することとなり、また、使いにくい再生細骨材や微粉といった副産物が生じることが、大きな問題である。これらはコストに直接につながる。

5. 再生骨材 JIS の体系

上記の状況を勘案し、JCI に 2002 年から作られた「再生骨材標準化委員会」(委員長 町田篤彦埼玉大教授) では、次のような基本方針で JIS 案を作成してきた。

- ① 高度に処理された再生骨材は、一般の骨材とほぼ同様の使い方ができるため、JIS は骨材の規格とし、JIS A 5308 「レディーミクストコンクリート」の中で使えるような体系とする。
- ② TR A 0006 「再生骨材を用いたコンクリート」で示された比較的低レベルの処理を施した再生骨材は、これを用いたコンクリートはその用途に配慮をしなければならないため、「再生骨材」の規格ではなく、「再生骨材コンクリート」の規格とする。
- ③ 上記 2 種類の再生骨材の中間に位置するものも、用途が見込めるため、JIS 化を検討する。
- ④ JIS 規格を作成する際、その事業性がなければ、絵に描いた餅になるため、事業性の検討も行う。
- ⑤ 新たな試験法が必要となる場合は、それもあわせて検討する。

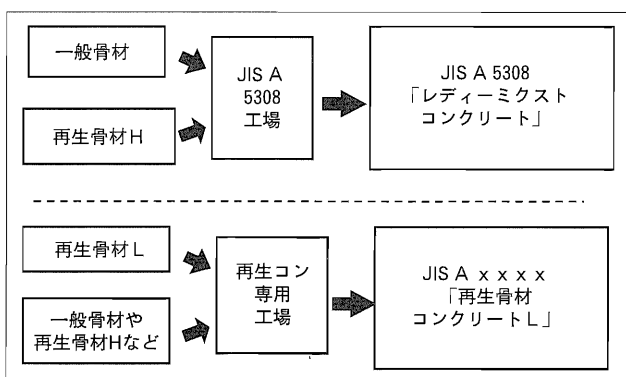


図-1 再生骨材と再生コンクリートの JIS 体系

この内①、②のイメージを図示すると図-1 のようになる。

ちなみに筆者は、この委員会の中で「再生骨材 L を用いた再生骨材コンクリート」と試験法の WG に参加させていただいた。

6. JIS A 5021 「コンクリート用再生骨材 H」について

再生骨材 H は、通常の骨材とほぼ同じような使い方を想定しているため、本 JIS は JIS A 5308 附属書の砂利・砂の規格と JIS A 5005 「コンクリート用砕石及び砕砂」を組合わせたようなものとなっている。誌面の都合で詳細は記述できないが、特徴的なところを述べる。

まず「4.1 種類」では、種類として再生粗骨材 H と再生細骨材 H があることを示しているが、同時にここで再生骨材 H の定義を行っている。つまり「原コンクリートに対し、破碎、磨砕等の高度な処理を行い、必要に応じて粒度調整した」ものとしている。

次に「5. 品質」では、構造物の解体、骨材の処理の際にどうしても混入してしまう不純物の含有量の上限を示している。不純物にはタイルや煉瓦のような骨材に近い無機物から紙や木片などの有機物まで種々のものがあるが、これらをコンクリートへの影響等を考慮して A から F までの 6 つのグループに分けて、それぞれ含有量の上限を示している。さらに、不純物の合計の量として質量比で 3% 以下としている。

骨材の物理的な性質としては「絶乾密度」「吸水率」「すりへり減量」「微粒分量」を規定している。細骨材の微粒分量が大きい以外は、いずれも A 5308 附属書の砂利・砂の規定と同じである。表-1 にその一部を示す。

表-1 再生骨材の物理的性質 (一部)

試験項目	再生粗骨材 H		再生粗骨材 M*		再生粗骨材 L	
	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材
絶乾密度 (g/cm ³)	2.5 以上	2.5 以上	2.3 以上	2.3 以上	—	—
吸水率 (%)	3.0 以下	3.5 以下	5.0 以下	7.0 以下	7.0 以下	13.0 以下
微粒分量 (%)	1.0 以下	7.0 以下	1.5 以下	7.0 以下	2.0 以下	10.0 以下

*M については案

粒度区分については、粗骨材に砕石 JIS の区分と同様の考え方が導入されている。また砕石・砕砂と同様の粒形判定実積率の下限が示されている。

このように書いてしまうと、再生骨材 H の JIS は

一般の砂利・砂と碎石・砕砂の規定と同じ印象を持たれてしまいそうである。しかし実は、アルカリ骨材反応（以下、ASR）性の判定、不純物の試験、検査頻度、などに独特の工夫がなされている。また、JIS案策定のための議論の膨大な時間の大部分はこうした点に割かれたようである。

つまり、再生骨材はコンクリート解体材から造られるため、一般にロットが小さく、品質の変動が大きいという特性がある一方で、単価の低い一般骨材と競争するためには検査等の費用も極力抑えなければならないという、相反する課題があるのである。

大きなロットで原骨材が特定できる場合には、品質管理が容易になるため、附属書1（規定）では「原骨材の特定方法」を示している。例えば、再生骨材のASR反応性は試験に要する費用や時間を考えると「無害でない」として扱わざるを得ない場合が多い。しかし、附属書1によって原骨材がASR反応性が「無害」と判定される場合には、ASR抑制対策を講じる必要性がなくなる。

ロットが小さいと品質管理・検査のための試験の頻度が増えてしまうが、一律に安全を見込んで検査ロットの大きさを規定してしまうと不合理な場合が増えてしまうため、検査の頻度については状況に応じて変えられるように工夫されている。また、不純物試験などは、通常の骨材と同じような試験を行うと膨大なコストを要する可能性があるため、「限度見本」をあらかじめ作っておき、目視による検査を行う手法について、附属書2（規定）「限度見本による再生骨材Hの不純物量試験方法」を規定している。

なお、「再生骨材H」という用語についてもかなりの議論がなされている。当初、「高品質再生骨材」、「構造用再生骨材」、「高度処理再生骨材」などの用語が提案されたが、これらを用いると、後述する「再生骨材L」に対する用語がどうしてもネガティブになるので却下された。

「I種、II種、III種」あるいは「1種、2種、3種」の案も出されたが、前者は1994年の旧建設省通達で用いられていて、それらとは同じではないこと、後者は軽量骨材を用いたコンクリートで別の概念で用いられていることなどから混乱を招くとして、これも却下された。

なお、こうした背景はJISの解説に詳細に示されている。JIS本文が附属書も含めて10頁であるのに対し、解説は15頁にも及んでいる。

なお、JCI「再生骨材標準化委員会」では、JIS案だけでは実務への展開が難しいため、JIS A 5005の

JIS工場個別審査事項を参考に再生骨材Hに対する個別審査事項素案も検討している。さらに、生コンで使用する際の体系を想定し、JIS A 5308の改正案も検討している。

7. JIS A xxxx「再生骨材Lを用いた再生骨材コンクリート」について

本報の執筆時点で本JIS案のJIS化は決定していないので、JIS番号も未定である。

再生骨材Hが高度な処理を施して、JISの生コンで使えるように普通骨材に極めて近い品質を目指しているのに対し、再生骨材Lはなるべく処理に経費をかけず、副産物の粉体の発生量も極力抑えようとするものである。

再生骨材HのJISが骨材規格であるのに対し、再生骨材Lを用いた再生骨材コンクリートのJISは、コンクリートの規格である。骨材規格は附属書となっている。この理由は、図-1に示すように、再生骨材HはあくまでJIS A 5308の体系の中で骨材を使おうとするのに対し、再生骨材LはJIS A 5308の枠の中で有効かつ安全に使うのは難しいと判断したからである。つまり、実際にこの体系を運用するには再生コンクリートの専用工場が必要となる。

本JIS案の策定に当たっては、2000年制定のTR A 0006「再生骨材を用いたコンクリート」があったため、簡単な審議でJIS化が可能ではないかと当初予想されたが、実際にはかなりの難産であった。

再生骨材Lの品質としては、なるべく処理にエネルギーをかけないこと、副産物の発生量を抑えることを念頭に、表-1に示すような物理的性質を規定している。粒度分布は一般の骨材より若干幅の広い範囲を設定している。また、ASR反応性を確認することは事実上困難なので、特別な場合を除き、「無害と判定されていない」ものとして取扱うこととしている。つまり、何らかのASR抑制対策をとることを前提としている。

再生骨材Lを用いた再生骨材コンクリートの種類としては、「標準品」「塩分規制品」「仕様発注品」の3種類を規定している。「標準品」は製造や検査のコストをなるべくかけず、その代わり用途を限定したものである。用途としては、裏込めコンクリート、間詰めコンクリート、均しコンクリート、捨てコンクリート等の、高い強度、高い耐久性が要求されない部材および部位である。これは、この再生コンクリートに通常高い凍結融解抵抗性を要求するのが難しいためであ

る。「塩分規制品」は鉄筋がある場合に用いる。

実際には再生骨材 L を用いた再生骨材コンクリートに相当するコンクリートが外気に曝されるようなところはかなり使われていることも考慮し、購入者が十分な検討を行ったうえで「仕様発注品」を購入し、上記の限定された用途以外に用いることも可能としている。

「標準品」は呼び強度を 18、粗骨材の最大寸法を 20 mm または 25 mm、荷卸し地点におけるスランプを 10 cm または 18 cm と、種類を簡素化している。なお、AE 減水剤または高性能 AE 減水剤を用いるが、空気量は規定しない。「塩分規制品」は「標準品」のうち塩化物イオン量の上限を規定したものである。「仕様発注品」は購入者が再生骨材 L を除く材料および配合を指定して発注するものであり、呼び強度は 18、21、24 である。

審議の過程では、いくつかのことが大きな問題となった。重要な点だけご紹介したい。

(a) 呼び強度

まず、呼び強度についてである。TR A 0006 では「標準品」の呼び強度は 12 としていた。これは、TR で示した水セメント比の上限 65% を守れば、18 程度の強度は楽に達成できることはわかっていたが、ばらつきが大きいとの予想のもと、安全を見込んだためである。今回、実際のデータを収集し、呼び強度 18 が楽に確実に達成できることが判明したため、呼び強度を改めた。

(b) ASR 対策

次に、ASR 対策である。再生骨材は基本的にはロットが小さく、試験によって ASR 反応性を判断するのは難しい。このため、無害でないとして扱わざるを得ない。この場合、コンクリートのアルカリ総量規制か混合セメントまたは混和材料による対策を施すことになる。アルカリ総量規制の場合、新たに用いるセメントからのアルカリ量以外に、再生骨材に付着したセメントペースト中のアルカリ量もカウントしなければならない。實際上、再生骨材中のアルカリ量を試験で把握しながら使うということは難しいため、混合セメントまたは混和材料による対策を施すことを原則にしている。

(c) 塩分規制品

「塩分規制品」では、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン含有量を検査しなければならないが、再生骨材中に塩化物イオンが含まれている場合には、溶け出してくるまでかなりの時間がかかることが想定されるため、試験結果の判定に工夫を加えている。

(d) 残された問題点

このほかにも、各種混和材との併用、一般骨材との混合使用等の際に問題となる点の解決、空気量を測定しない状況下での容積保証のあり方、品質管理・検査の方法と頻度、製造工場の簡素化と連続ミキサの導入、その際に問題となる連続ミキサの性能確認方法、等々、数多くの問題点が出され、それらをクリアするための議論がなされた。これらは、JIS 解説に非常に詳細に示される予定であるので、ここでは省略させていただく。

8. 再生骨材 M を用いたコンクリートについて

再生骨 H と再生骨材 L の間に位置する品質の再生骨材にも有効な使い方があるのではないかとということで、再生骨材 M を用いたコンクリートの JIS 案の審議も行われた。

再生骨材 M の品質としては、表—1 に示すようなものである。用途としては、例えば、杭、耐圧版、基礎梁、鋼管充填コンクリートなど乾燥収縮や凍結融解の影響を受けにくい、ある程度構造的な強度が要求されるような部材である。この JIS 案については、2005 年度も引続き JCI で原案のブラッシュアップがなされる予定であるので、ここでは詳細は省略させていただく。

9. おわりに

再生骨材の問題は、

- ・ロットが小さくばらつきが大きい、
- ・コンクリートにマイナスの影響を与える、

等々、実は多くの副産物を利用する際の共通する課題でもある。副産物の利用はその種類や用途などを考えると、本来はかなり地域ごとの問題である。

再生骨材は、少なくとも原料のコンクリート解体材のほとんどが JIS 製品であったため、JIS 化が可能であったが、これから出てくる種々の副産物について、JIS という全国レベルの体系で規定するのが適切であるかどうか、筆者は個人的には疑問を持っている。

性能規定的な考えに基づき、もっと技術者の判断と責任で運用が可能な体制を築かないと真の意味での循環型社会の構築は難しいのではないかと感じる。しかし、再生骨材の JIS 化の過程で議論されたことは、その他の副産物の利用を考える際に、今後とも必ず役立つものと確信している。

限られた誌面で再生骨材の JIS 化の状況を報告し

たため、十分な説明ができなかった。JCI (<http://www.jci-net.or.jp/>) では2005年9月22日に東京都千代田区・レポール麹町にて、「コンクリート用再生骨材の普及促進」に関するシンポジウム開催を予定しているの、ご興味のある方は是非聴講されたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 河野広隆：「コンクリート副産物の再利用促進に向けて—コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準（案）より」、セメントコンクリート、No.572、p.52-55、1994.10
- 2) 河野広隆：「コンクリート副産物活用のための技術開発と再生コンクリート JIS/TR」、月刊生コン、2000年12月号
- 3) 例えば、島、他：「加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術の開発」、コンクリート工学年次論文集、第22巻、第2号、2000.06
- 4) 例えば、笠井：再生骨材の使用基準、セメントコンクリート、No.415、1981.9
- 5) 建設省総合技術開発プロジェクト報告書：「建設事業への廃棄物利用

- 技術に関する調査報告書」、1986
- 6) 「コンクリート副産物の高度処理・利用技術の開発に関する共同研究報告書—コンクリート副産物の土木事業における利用ガイドブック」、土木研究所共同研究報告書、166号、1997.03
 - 7) 技術フォーラム「資源の有効利用とコンクリート」、第14回「コンクリート分野における資源の有効利用の将来展望」、コンクリート工学、Vol.35、No.4、1997.4
 - 8) 片平、河野：「再生骨材コンクリートの強度・耐久性調査」、土木技術資料、Vol.40、No.10、1998.10
 - 9) 「電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針（案）」、土木学会コンクリートライブラリー、120、2005.6
 - 10) <http://www.con-saisei.net/aboutus.php4>

[筆者紹介]

河野 広隆（かわの ひろたか）
独立行政法人土木研究所
材料地盤研究グループ長

建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害、現行法令、調査・予測と対策の基本、現地調査）
- 各論（土木、コンクリート工、シールド・推進工、運搬工、塗装工、地盤処理工、岩石掘削工、鋼構造物工、仮設工、基礎工、構造物とりこわし工、定置機械（空気圧縮機、動発電機）、土留工、トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説、環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731）、振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判、340頁、表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円） 送料 600円

・「会員」本協会の本部、支部全員及び官公庁、学校等公的機関

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289