

報告 ベルトコンベア方式によるコンクリートの連続製造方法の検討

佐原晴也*¹・原 雅秀*²・森下英利*³

要旨：7個のベルトコンベア、ベルトコンベアの乗継ぎ部に設置した3種のダンパシュート、加水装置、および材料の計量・供給設備で構成したシステムで、硬練りコンクリートの製造の可否を検討した。実験の結果、本システムは、スランプで代表されるワーカビリティの確保の面でさらに検討の余地があるものの、水セメント比に応じた所要の強度を有するコンクリートを、連続ミキサの練混ぜ性能評価指標を満足する範囲のばらつきで製造できることなどが明らかになった。

キーワード：ベルトコンベア、現場練りコンクリート、連続練りミキサ、練混ぜ性能

1. はじめに

近年、河床砂礫や掘削土砂などの現地発生材料にその場でセメントを混合して、フィルダムの堤体や重力式砂防ダムを築造する工法が開発されている[1]。これらのセメント混合材料はバックホウを用いて混合されているが、建設材料的には骨材資源を有効利用したコンクリートと位置付けることもでき[2]、材料の供給や混合の精度を高めることによって、より品質が高いコンクリートとして利用範囲が拡大できると考えられる。

一方、地盤改良工法分野において、複数個のベルトコンベアを組み合せ、その乗継ぎを利用して土砂とセメントなどの安定材を混合する工法が開発されている[3]。この工法は、設備費用が比較的安価で、短時間に大量の土砂と安定材を精度良く混合できると報告されている[4]。

本報は、以上のような状況を踏まえ、工事現場において簡便で経済的な設備を用いて、より均質で安定した品質のコンクリートを大量に製造する方法として、ベルトコンベア方式によるコンクリート製造の可能性を実験的に検討した結果について述べるものである。なお、ベルトコンベアはごく一般的な形状のものを使用することとし、このため本実験の製造対象コンクリートはダムや舗装用などの硬練りコンクリートとした。

2. ベルトコンベア方式による混合システム概要

(1) 全体システム

図-1に、本実験で使用したベルトコンベア方式の製造システムの概要を示す。同図から分かるように、本製造システムは材料の計量・供給設備、7個のベルトコンベア（幅50cm）、各種ダンパシュート、加水装置で構成されている。本システムによる材料の混合過程は、一番目のベルトコンベア上に砂、セメント、砂、碎石の順に各材料をサンドイッチ状に定量供給し、高速で動くベルトコンベアを利用して材料に高い運動エネルギーを与え、乗継ぎ部に設置した各種のダンパで衝突、せん断することで混合するものである。

(2) 材料の計量・供給システム

ベルトコンベア方式によるコンクリート製造は、一種の連続ミキサによる現場練りコンクリー

*1 日本国土開発(株) 技術開発研究所 第三研究室、博士(工学) (正会員)

*2 日本国土開発(株) 技術開発研究所 第二研究室、工修

*3 日本国土開発(株) 技術開発研究所 第三研究室

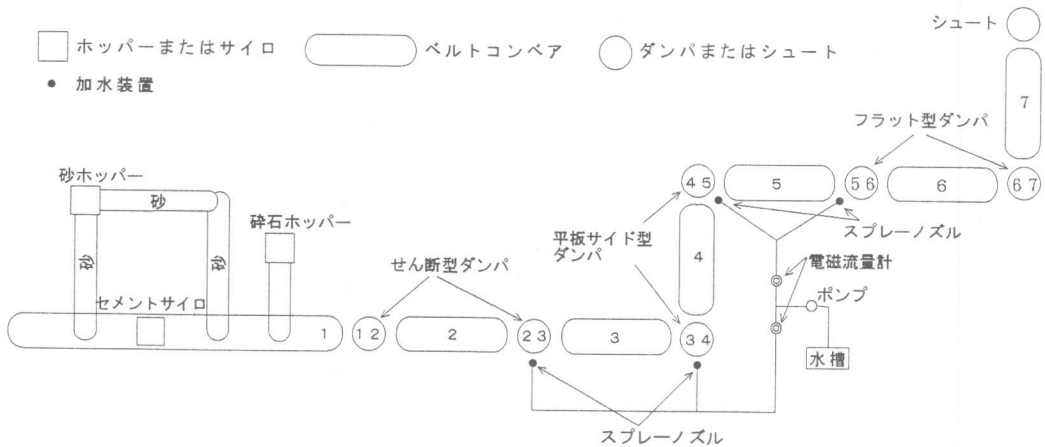


図-1 ベルトコンベア方式の製造システム概要

トの製造方式とみなせる。本実験では一般の連続ミキサと同様に、セメントの計量・供給にはセメントフィーダ（テーブル型フィーダ）を用い、骨材（砂、碎石）の計量・供給にはベルトフィーダを使用した。

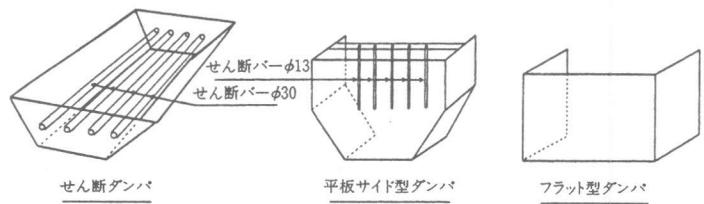


図-2 ダンパの種類別概要図

(3) 混合・攪拌方法

(1)で述べた混合過程から分かるように、ベルトコンベア方式の製造システムの混合（混練）能力は、ベルトコンベア速度と各種ダンパの性能や数の影響を受ける。本実験では、No. 2～No. 6のベルトコンベア速度は、地盤改良分野のシステムと同じく150m/minとし、No. 1、No. 7のベルトコンベア速度については、材料の供給量の変動を小さくすることや最終的な放出時のコンクリートの分離を防ぐために、半分の75m/minとした。また、ダンパについても地盤改良分野のシステムと同じく、図-2に示すせん断ダンパ、平板サイド型ダンパ、フラット型ダンパの3通りを使用し、各々2個ずつを図-1に示すようにベルトコンベアの乗継ぎ部に設置した。

(4) 加水システム

一般に、地盤改良分野では土砂の表面水量のみで混合・攪拌しており、“加水”という操作がない。これに対してコンクリート製造では、骨材の表面水量を補正した所定量の練混ぜ水を加水して練混ぜる必要があり、コンクリート全体に均一に効率よく加水する方法の検討が必要である。ここでは本実験前に予備実験を数回を行い、その時の目視観察や圧縮強度試験の結果をもとに、図-1に示す4ヶ所のダンパ位置で加水を行った。加水はスプレーノズルを用いて混合体の表裏から噴霧する方法で行い、加水量は4ヶ所とも同量とした。

3. 実験方法

(1) 使用材料とコンクリートの配合

本実験では、製造対象を粗骨材の最大寸法40mm、スランプ2.5cmの道路舗装用コンクリートとした。表-1に使用材料を、表-2に近隣のレードミクストコンクリート工場の道路舗装用コン

クリートの配合を若干修正した配合、および室内試験練り（パン型強制練りミキサ使用）結果を示す。

表－1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント、比重3.15
細骨材	相模川水系中目砂、比重2.58、FM3.21
粗骨材	碎石4020と砂石2005の混合、比重2.65
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物
AE剤	天然樹脂酸塩系

(2) 加水量

実験は、配合上の単位水量から砂の表面水量を差し引いた計算上の正規の加水量の他に、表面水率を実測値よりも少なく仮定して、加水量を増加した条件でも

表－2 コンクリート配合と室内試験練り結果

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE減水剤 (C%)	AE剤 (C%)	試験練り結果		
		W	C	S	G			スランプ (cm)	空気量 (%)	C.T (°C)
43	35	138	321	645	1232	0.35	0.01	3.5	5.0	20.0

C.T: コンクリート温度

行った。この理由は後に詳述するが、計算上の正規の量を加水した条件では、出来上がったコンクリートがかなり硬目だったためである。

表－3 加水量（実験条件）の一覧

表－3に加水量（実験条件）の一覧を示す。

実験記号	加水量
Sw-0	砂の表面水率の実測値Swを用いて補正した水量
Sw-2.0	砂の表面水率をSw-2%と仮定して補正した水量（増加量約13.0kg/m ³ ）
Sw-3.5	（ " 22.5kg/m ³ ）
Sw-5.5	（ " 35.5kg/m ³ ）

(3) 計量装置のキャリブレーション

セメントフィーダおよびベルトフィーダのキャリブレーションは、それぞれシステムを数分間稼動し、供給量を数回ずつ実測（セメント800～1000kg、骨材2000～4000kg）して行った。

(4) 製造量

本実験で使用した製造システムは、ベルトコンベアの寸法の制約などから、混合土の最大製造量は約70m³/Hであった。そこで、ここではコンクリートの目標製造量を60m³/Hに設定し、約1.5分間システムを稼動した。したがって、1回の実験の製造量は約1.5m³となった。

(5) 試料の採取方法

フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの試験用の試料は、①ベルトコンベアから排出される最初の約0.15m³を廃棄したのち、第1回目の試料を約0.15m³採取（以後、測定部位0.15m³と記述）、②コンクリートをさらに約0.7m³廃棄したのち、第2回目の試料を約0.15m³採取（以後、測定部位1.0m³と記述）、という手順で行った。

(6) 試験項目

(5)に示した2つの部位の試料についてスランプ、空気量、粗骨材とモルタルの量（Sw-3.5、Sw-5.5の実験条件のみ）、および圧縮強度を測定した。Sw-3.5、Sw-5.5の実験条件ではスランプ、空気量、粗骨材とモルタル量の測定は各部位で2回ずつ行った。また、圧縮強度試験用の供試体はφ15cm×h30cmとし、3層に分けて試料を詰めてφ32mmのバイブレータでセメントペーストがわずかに浮く程度まで締固め、木づちによるたたきで成形した。なお、ベルトコンベアから排出された後は、スコップによる練り返しは行わずに試料を採取した。

4. 実験結果および考察

(1) 目視による観察結果

製造状況を目視観察したところ、Sw-0の実験条件（表－3参照）では、室内ミキサで製造した場合に比べてコンクリートは明らかに硬く（事実、後述するスランプ値は0cm、理由について

は後述)、良好なワーカビリティを得るためには加水量を増やす必要があると判断された。そこで、砂の表面水率を実測値 S_w に対して -2% 、 -3.5% 、 -5.5% に仮定して加水量を増加した条件でも製造実験を行った。その結果、表面水率を $S_w-2\%$ 、 $S_w-3.5\%$ とした条件では目視では変化があまりみられなかったが、 $S_w-5.5\%$ とした条件ではコンクリート表面が水気を帯びて滑らかになるのが観察された。

(2) フレッシュコンクリートの試験結果

図-3 および図-4 にそれぞれ加水条件とスランプの関係、および空気量の関係を示す。

図-3 から、測定部位 0.15m^3 および 1.0m^3 の部位ともに、計算上の正

規の量を加水した条件のみならず、砂の表面水率を実測値よりも少なく仮定して加水量を増加した条件においてもスランプは $0\sim 1.0\text{cm}$ 程度であることが分かる。このように、単位水量を増加しても室内のミキサで練混ぜたコンクリートのスランプ (3.5cm) に比べて小さくなった理由としては、①練混ぜ水をノズルで噴霧して加水しているため、飛散によるロスが生じて、計算上の所定量が加水されていない、②システムの混合・攪拌能力不足、などが考えられる。これについては、後述する圧縮強度試験結果やその他のデータを加えて改めて考察したい。一方、図-4 から、空気量はいずれの測定値も室内ミキサで得られた空気量よりも小さいことが分かる。これは、本製造システムでは通常ミキサに比べて AE 剤の効果が発揮されにくいとと考えられ、このこともスランプが小さくなった一因と考えられる。

(3) 洗い試験結果

洗い試験を行い、「JIS A 1119 ミキサで練混ぜたコンクリート中のモルタルの差及び粗骨材量の差の試験方法」に従って整理した結果を表-4 および表-5 に示す。表-4 から、 $S_w-3.5$ の実験条件では、製造したコンクリート中の粗骨材含有量が測定部位 0.15m^3 、 1.0m^3 の部位ともに、配合上の粗骨材量とほぼ同じであることが分かる。また、 $S_w-5.5$ の条件でも誤差は 4% 弱と小さい。このことから、各材料がほぼ計画通りに計量・供給され、ベルトコンベアによる運搬やダンパ部における混合・攪拌時にも組成が変化せずにコンクリートが製造されたことが分かる。なお、個々の測定値ではばらつきがややみられるが、これは

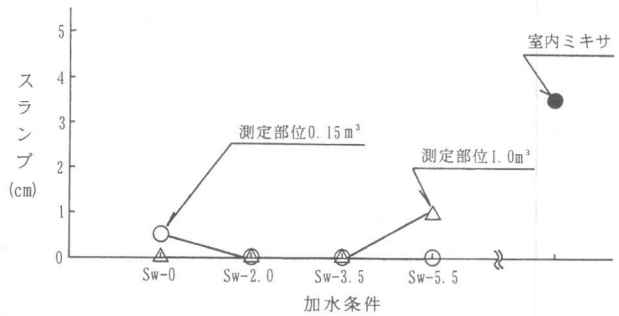


図-3 加水条件とスランプの関係

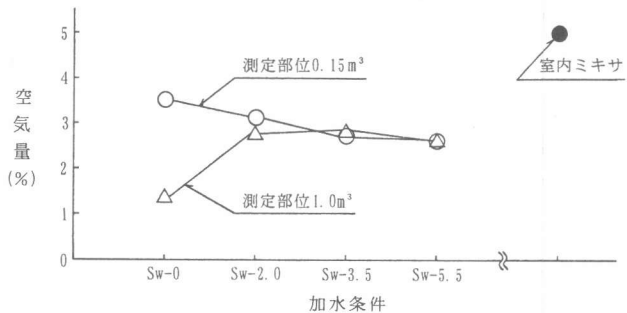


図-4 加水条件と空気量の関係

表-4 粗骨材の洗い試験結果

実験記号	粗骨材含有量 (kg/m ³)				配合上の粗骨材量 (kg/m ³)
	測定部位 0.15m ³		測定部位 1.0m ³		
Sw-3.5	1313	1149	1206	1268	1232
	平均 1231		平均 1237		
Sw-5.5	1164	1207	1191	1264	
	平均 1186		平均 1228		

前述のように試料採取に際して繰り返しを行わなかったことなどが影響していると考えられる。また、表-5に示すように、 $S_w-3.5$ と $S_w-5.5$ の条件では後者のモルタル単位容積質量が小さい傾向がみられるが、これはモルタル中の水量の違いによるものと考えられる。

表-5 モルタルの単位容積質量

実験記号	空気を含まないモルタルの単位容積質量 (kg/m ³)			
	測定部位 0.15m ³		測定部位 1.0m ³	
$S_w-3.5$	2346	2340	2348	2359
	平均 2343		平均 2354	
$S_w-5.5$	2303	2300	2320	2313
	平均 2302		平均 2317	

(4) 圧縮強度試験結果

図-5に材令28日圧縮強度試験結果を示す。同図から、 $S_w-5.5$ の実験条件を除き、測定部位の違いによる圧縮強度の違いはほとんどみられないことが分かる。また、同一部位から採取した3本の供試体の圧縮強度の変動係数は1~8%(平均3.8%)であり、ばらつきが小さかった。

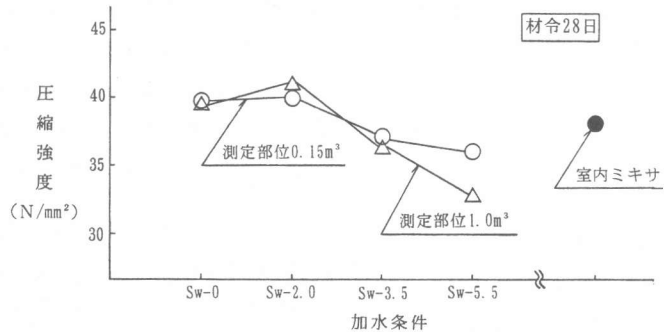


図-5 加水条件と圧縮強度の関係(材令28日)

このことから、 S_w-0 、 S_w-2 、 $S_w-3.5$ の実験条件では、強度的に均一なコンクリートが製造できていると言える。また、室内ミキサで製造したコンクリートの材令28日圧縮強度(37.1N/mm²)と比較すると、 $S_w-3.5$ の実験条件において同等な強度が得られていることが分かる。加水量が少ない S_w-0 、 S_w-2 の条件では室内ミキサに比べて大きな圧縮強度が得られており、実際の練混ぜ水量が配合上の正規の単位水量よりも少ないことが考えられる。逆に加水量が多い $S_w-5.5$ の条件では強度低下がみられ、練混ぜ水量が正規の単位水量よりも多いことが考えられる。

(5) 実際の練混ぜ水量の推定

(4)で述べたように、圧縮強度の面から考えると、 $S_w-3.5$ の実験条件で配合上の正規の単位水量に近い水量が加水されたと考えられる。しかし、この条件は、表-3に示すように計算上は単位水量を約22.5kg/m³増加した条件である。それにもかかわらず配合上の正規の単位水量に近い水量になった理由としては、前述したように、噴霧して加水した際の飛散等によるロスが考えられる。本実験の結果から飛散等によるロス率を考察すると20%程度になる。

5. ベルトコンベア方式のコンクリート製造システムの性能評価

(1) 「連続ミキサの練りませ性能試験方法(案)」(土木学会規準)による評価

表-6に、土木学会規準の評価指標値と本実験の結果を示す。同表から、 S_w-2 および $S_w-3.5$ の実験条件では、測定した試験項目は土木学会規準の指標値を満足していることが分かる。特に、正規の単位水量に最も近い練混ぜ水量になっていると推定される $S_w-3.5$ の実験条件では、全ての項目について土木学会規準を満足している。前述のように、スランプは全ての実験条件で0~1cmの値しか得られていないため、これを指標とした評価結果についてはさらに検討の余地があると考えられる。しかし、モルタルの差、粗骨材量の差、圧縮強度の差から判断すると、妥当な水量で製造した場合には、ベルトコンベア方式によるコンクリート製造システムは、連続ミ

キサの練混ぜ性能評価指標を満足する性能を有している可能性があると考えられる。

(2) 通常のミキサで製造したコンクリートの品質との比較による評価

ベルトコンベア方式で製造したコンクリートのスランプは、図-3に示したように、正規の単位水量と同程度と推定される水量 ($S_w-3.5$) や、それよりも約 13kg/m^3 多い水量 ($S_w-5.5$) で練混ぜても、室内ミキサで製造した場合と同等のスランプは得られなかった。この原因の一つとして練混ぜ不足が考えられる。本実験の製造システムでは6ヶ所のダンパ部で材料の混合が行われるが、ある部位の材料が1ヶ所のダンパ部で混合される時間は1~2秒程度と考えられる。すなわち、ある部位の材料が混合されるトータル時間は10秒程度と言える。このような短い練混ぜ時間では有スランプのコンクリートの製造が難しいものと考えられる。

一方、圧縮強度に関しては、図-5に示したように、練混ぜ水量が正規の単位水量を大きく超えないかぎり、室内ミキサで製造した場合と同等以上の強度が得られることが明らかになった。

以上より、製造したコンクリートの品質からベルトコンベア方式による製造システムの練混ぜ性能を評価した場合、

スランプで代表されるワーカビリティの確保は難しい面もあるが、所要の強度を得ることについては問題がないと言える。

表-6 練混ぜ性能の評価

測定部位 0.15m^3 と測定部位 1.0m^3 の試験結果の差	土木学会規準の指標値	実験記号(加水条件)			
		S_w-0	S_w-2	$S_w-3.5$	$S_w-5.5$
空気量差 (%)	1	2.1	0.3	0.1	0
スランプ差 (cm)	3	0.5	0	0	1.0
モルタルの単位容積質量差 (%)	0.8	-	-	0.2	0.3
単位粗骨材量差 (%)	5	-	-	0.2	1.7
圧縮強度差(材令28日) (%)	2.5	0.5	1.2	0.5	4.3

6. まとめ

ベルトコンベア方式によるコンクリート製造の可能性を検討した本実験の結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 本製造システムは、スランプを指標とした評価についてはさらに検討の余地があるが、その他の品質から判断すると、連続ミキサの練混ぜ性能評価指標を満足する性能を有する可能性がある。
- (2) また、加水量を適切に補正すれば、本システムで水セメント比に応じた所要の強度を有するコンクリートをばらつきが少なく製造できる。

このように、ベルトコンベア方式のコンクリート製造システムは、簡易なコンクリートの製造プラントとして実用化の可能性が十分にあると考えられる。本システムでは、ベルトコンベアの寸法を大きくすることで製造量を大幅に増やすことも可能であり、一時期に連続して大量の硬練りコンクリートを供給する必要がある施工条件で有効と考えられる。今後は、有スランプコンクリートを得るためのシステムの改良、実施工用の大型システムにおける適切な加水位置や加水方法の検討、などが必要と考えている。

[参考文献]

- [1] 石川高史、米谷 敏：ダム堤体築造の新工法-C.S.G工法による上流仮締切堤の施工-、土木学会誌1994年3月号、pp.18~21
- [2] 座談会：今求められているダム技術、ダム技術No.100、pp.4~27、1995.1
- [3] 片野英雄、黒山英伸、和田航一：改良された砂質材料の埋立工法に関する研究-ベルトコンベアによる混合実験-土木学会第42回年次学術講演会、第Ⅲ部門、pp.826~827、1987.9
- [4] 大西利満、小守喜一郎、片野英雄、芳沢秀明：ペントナイト混合土製造実験(ベルトコンベア方式による)、日本国土開発技術研究報告No.15、pp.57~62、1995