

# 廃陶器微粉末・細骨材混入 WEC を用いたプロダクト制作・評価過程とその評価

## Propose of Product Made with WEC (Wasted Earthenware Mixed Concrete) and Evaluation of It

平尾 和洋

Kazuhiro HIRAO

### 1. はじめに

本報は、従来のコンクリートに強度と色彩を付与した『廃陶器粉末着色コンクリート(Wasted Earthenware Concrete=「WEC」と称す)』を用いたプロダクト制作物の製作過程と、それが与える心理的効果の検証結果、ならびに制作物のデザイン・ブラッシュアップ・プロセスについて報告するものである。これまで著者らは、歴史的都市防災に寄与する景観材料の開発を目的として、「防火性能と伝統的意匠性」を両立するコンクリート系供試体を製作し、その「強度面」「耐久性」「着色・発色効果」「伝統的街並みとの調和」などの特性について検討を行ってきた<sup>1-4)</sup>。WECとは、粉砕と

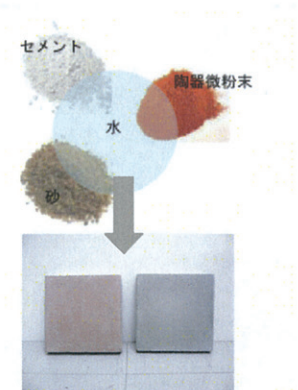


図1 WECの材料

資材管理が容易な廃陶器(信楽産・丹波産の植木鉢)を、コンクリート骨材・着色材に援用した新素材を指し、従来のコンクリートに「リサイクル性」の観点を持ち込んだマテリアルである。

一般にコンクリート着色材の粒子径は  $0.1\sim 10\mu\text{m}$  程度であり、着色力の大きさは粒子径が小さいほど大きい。そこでWEC開発過程では、セメントの粒径を目安として廃陶器の粉砕を行い、「陶器置換率  $P/(C+P)$ 」を  $0\sim 40\%$ の範囲で変化させた供試体を作成した上で、1)「スランプ」「空気量」「圧縮強度」「曲げ強度」「割裂引張強度」「静弾性係数」「乾燥収縮」「凍結融解抵抗性」の測定、ならびに、2)コンクリートの着色性について接触型分光色差計を用いた  $L^*a^*b^*$ 表色系およびマンセル表色系(H V/C)の測定を行ってきた。この結果、強度発現や収縮に問題はなく、廃陶器パウダーの細骨材置換率の上昇に応じて強度増加が期待できる点が明らかとなった。またAE 剤を添加してワーカビリティを管理することで、凍結融解に対する抵抗性が確保され、着色された供試体の色彩値も、京都東山山麓街路沿いにおける伝統的土壁の色彩分布範囲内を満足する結果が得られた。加えて上記の各種性能は、複数の環境下で1年以上暴露した後も安定していることが確認されている。他方、WECの景観面での効果については、電信柱・ブロック塀・建築物壁面などのコンクリート部位をWECで置換合成した画像を用いたSD法による検証作業により、[暖かい][明るい][開放的な][京都らしい][古い][調和のとれた][伝統的な]などの形容詞評価が高くなることが確認された。

こうした景観面での効果の確認を経て、本報ではテクスチャーならびに触感面での効果の確認作業を、実物大のプロダクト制作物を用いて行う。試みに人体との接触機会の多いWEC製ベンチを信楽町内に設置し、ユーザー・アンケートによる評価を行った。

## 2. コンセプト調査

表1 関係者へのヒアリング調査結果

日時	2008年9月1日	2008年10月7日	2008年10月7日	2008年11月21日
相手	甲賀市行政担当者	創作信楽焼製造メーカー	信楽イベント関係者	窯元
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陶器にはできないコンクリートならではの利用法を提案すべき</li> <li>・陶器を再利用してもらえるのはありがたい</li> <li>・財政難により景観の整備も中止していたが、最近窯元散策路で若手の職人による活動がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートの印象は重いかも</li> <li>・捨てられるはずの陶器をリサイクルして商品になるなら、エコで環境にやさしいだろう</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信楽ACTというイベントがある。休憩所を設けるのでそこで使用できるベンチおよびイスがあったら使いやすい</li> <li>・作ってもらえるなら出来上がったものを敷地まで運んでほしい</li> <li>・信楽焼をリサイクルしている製品としてイベントに出せるのでは</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・窯元散策路の景観にも合いそう</li> <li>・エコ商品になる</li> </ul>
	<p>「持ち運びが可能な大きさまで分けられる、座れるプロダクト」</p>			2008年11月21日 観光協会職員 <ul style="list-style-type: none"> <li>・観光客の方向けに信楽焼の新しい提案になるのでは</li> <li>・大量の廃棄物のリサイクルになる</li> </ul>

WECを用いて製作するプロダクトをする地域を、廃陶器の産地である滋賀県甲賀市信楽町(以下「信楽町」と称す)に設定し、2008年9～11月に行政担当者、信楽焼製造メーカー、信楽イベント関係者、窯元、観光協会職員に調整ヒアリングを行った。その結果、「持ち運びが可能な大きさまで分けられる」「座れる」「リサイクル性」が設計条件となった。他方、コンクリート専門家による既往研究<sup>5)</sup>ではWECの特性として[暖かい、やわらかい、ソフトな、風情がある、自然である、上品である、明るい、軽い]の8つの評価特性が挙げられている。以上より制作物のコンセプトを「日常に馴染むコンクリートベンチ」とし、①自然にやさしくエコ、②部分からかたちづくり、③身近に感じる、の3つをキーワードとして設定した(図2)。

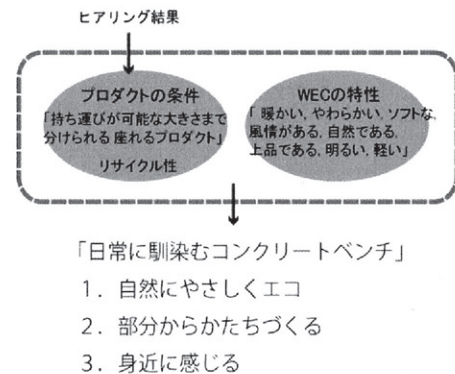


図2 デザインコンセプト

## 3. 試作品製作とその評価

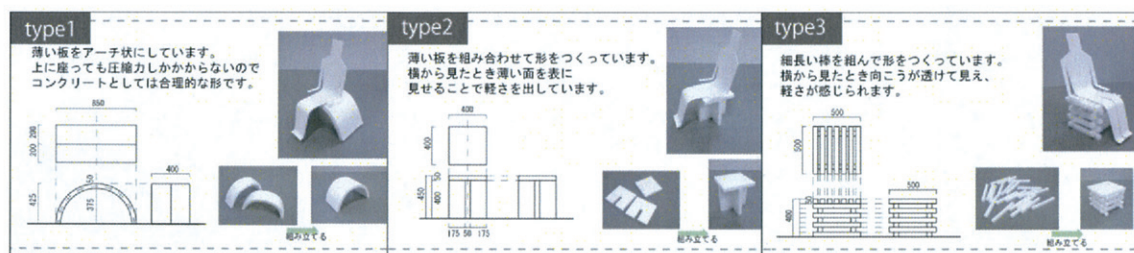


図3 3つの試作品デザイン

前節のコンセプトにしたがい、試作品のデザイン案を3つ作成し(図3)、その後生産性(施工性)に関するアンケートをコンクリート専門家(立命館大学教員)3名により行った。その結果を表2に示す。評価項目は[型枠のつくりやすさ、脱型のしやすさ、打ち込みのしやすさ、仕上げのきれいさ、サイズの正確さ]の5項目、「作りやすい:3点、ある程度作りやすい:2点、作りにくい:1点」で平均点を出すとともに、計算上の[部材の重さ、座面の

表2 施工性に関するアンケート結果

type	type1	type2	type3
質問項目			
型枠の つくりやすさ	1.67	2.67	2.67
脱型の しやすさ	1.67	2.33	2.67
打ち込みの しやすさ	2	2.67	2.67
仕上げの きれいさ	2	2	2
サイズの 正確さ	2.33	2	2
平均ポイント	1.9(点)	2.3(点)	2.4(点)
作りやすい(3点)	ある程度作りやすい(2点)	作りにくい(1点)	
計算上の部材 一つの重さ	25.62(kg)	16.32(kg)	2.55(kg)
計算上の 座面の 耐力	圧縮 786.39×10 <sup>3</sup> kg 曲げ	196.60×10 <sup>3</sup> kg	196.60×10 <sup>3</sup> kg 390.32kg

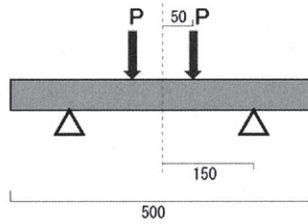


図4 曲げ強度実験

表3 実験要因

要因	仕様	
陶器	廃陶器(信楽焼)	
配合	W/(C+P)	50%
	陶器置換率	60%
供試体(大きさ)	50×50×500[mm]	
暴露条件	屋内	
物性試験項目	曲げ強度	

表4 曲げ強度実験

	高さ (mm)	幅 (mm)	曲げ破壊荷重 (kN)	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )
①	50.2	49.68	2.71	9.93
②	50.32	49.87	2.69	9.76
③	50.73	50.48	2.74	9.68
平均			2.71	9.79

耐力]も勘案し(表2)、試作品をtype3に決定した。次に試作品用パーツを製作し曲げ強度試験を行った。表3・図4はその実験要因である。強度試験結果を見ると(表4)部材1本につき2.71kN(276.33kg)、type3の設計では人間の荷重のかかるのは部材2本であり、 $2.71 \times 2 = 5.42\text{kN}$  (552.66kg)まで一人当たり耐力のあることが確認された。その後試作品製作を表5の使用材料・配合により行いその制作フローを図5に示した。図3のtype3に対して若干設計変更箇所があるが全体デザインは変わっていない。

表5 使用材料及び配合計算表

使用材料	略記	主な性質
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度:3.16cm <sup>3</sup> /g)
細骨材	S	高機産硬質砂岩砕砂(密度:2.64cm <sup>3</sup> /g, F.M.=2.79, 吸水率:18.4%, 単位容積質量1.66kg/l)
廃陶器 微粉末	P	信楽焼植木鉢(密度:2.63cm <sup>3</sup> /g) <sup>3</sup>
混和剤	Ad1	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤

P/(C+P) (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和材 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
		W	C	P	S	
60	50	301	401	601	802	10.1



図5 試作品製作フロー

試作品の完成後、信楽町内の陶器イベント期間中、制作物を休憩用ベンチとして設置し、評価のためのアンケートを行った。実施日は2009年4月3、4日、アンケート場所は

信楽町長野の窯元散策路ポケットパーク内、回答者総数は 59 名である。アンケートは表 6 に示すように、①印象評価 8 項目:[暖かさ、やわらかさ、風情、自然さ、上品さ、明るさ、軽さ、ソフトさ]、②評価は[感じた～感じなかった]の 5 段階、③①以外の 7 つの Yes/No による質問、④改善点など被験者からの自由記述からなる。



図 6 試作品アンケート調査の様子

表 6 試作品アンケート項目及び回答者属性

印象評価項目		イスの評価に関する質問			
1. 暖かさ		1. 持ち運びやすそうだと感じますか？			
2. やわらかさ		2. どこにでも置けると感じますか？			
3. 風情		3. リサイクル性を感じますか？			
4. 自然さ		4. 陶器が入っていると分かりますか？			
5. 上品さ		5. 座ってみたいと感じましたか？			
6. 明るさ		6. また座りたいですか？			
7. 軽さ		7. 信楽らしさを感じますか？			
8. ソフトさ					
近隣	信楽町在住	イベント関係者	イベント訪問者	合計	
人数(人)	7	10	42	59	

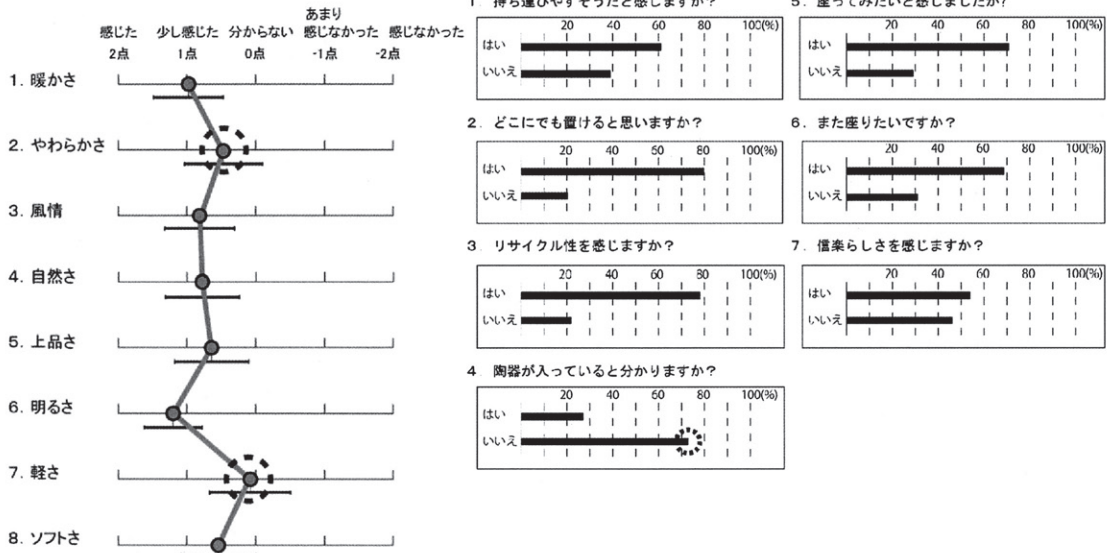


図 7 試作品イメージプロフィール及び試作品アンケート集計結果

図 7 にはアンケート内容集計結果を示した。概ねプラスの評価がなされており、相対的に[暖かさ][明るさ]が強くなっている。一方、[やわらかさ][軽さ][信楽らしさ]の項目では積極的な評価が得られなかった。Yes/No による質問では 7 項目中 6 つで「はい」が「いいえ」を上回った。但し[陶器が入っている]ということが伝わっていない。

以上の結果より考察として、既往研究<sup>5)</sup>で得られた評価項目に比して、身近なプロダクトとして WEC を使用した場合、[やわらかさ][軽さ]については素材感以外のファクターにも注意が必要であると判断した。今回制作した type3 は、角型の部分パーツからなり、全体フォルムも直方体であったことが評価に影響したことが想定されるからである。また、[信楽らしさ][陶器が入っている]については、試作品を廃陶器パウダーのみで制作したが、より「視覚的特性に訴える改善が必要」と判断した。つまり「目に見える陶器のデザイン」を

強化する必要があるということである。そこでパウダーだけではなく、細骨材にも廃陶器を利用(以下「廃陶器細骨材」と称す)した WEC 供試体を作成した(図 8)。廃陶器細骨材を混入したモルタルに研磨加工することにより、廃陶器片そのものの色・形がみえるマテリアル表面に改善した。

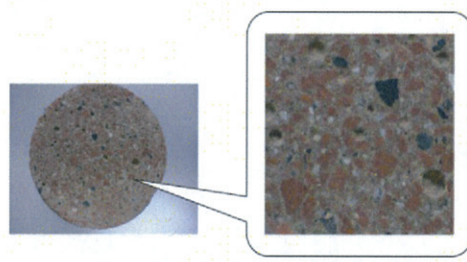


図 8 廃陶器細骨材を混入した供試体

#### 4. 本作品制作およびアンケート調査

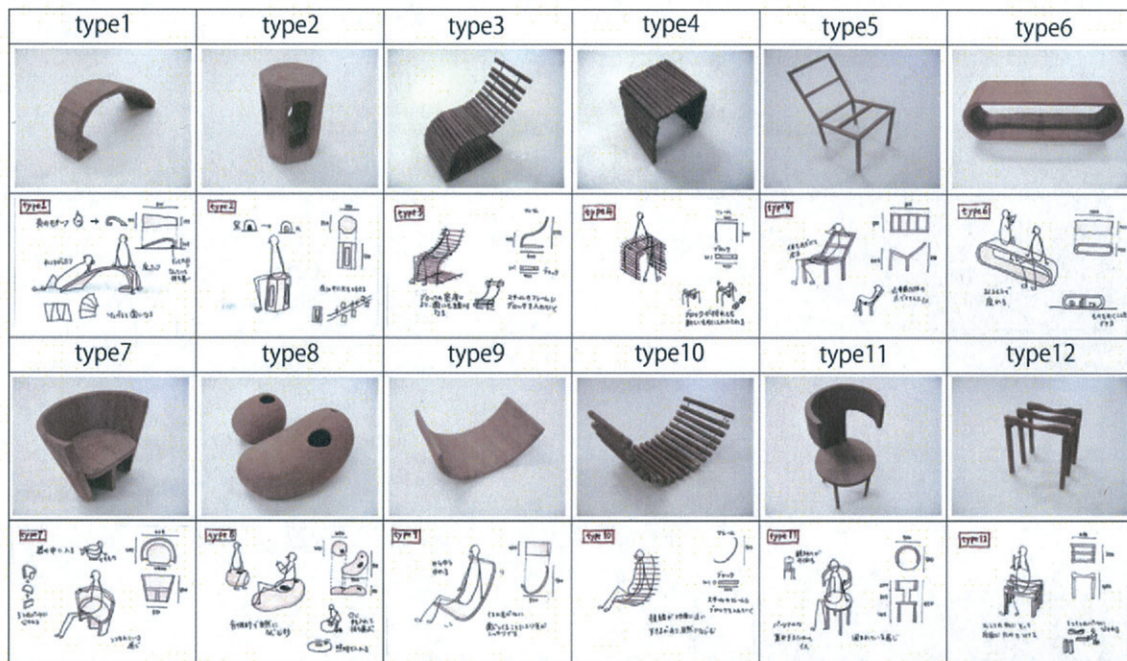


図 9 12 の本作品デザイン案(模型写真とコンセプトスケッチ)

改善された WEC を用いたプロダクト制作(ベンチ:本作品)に先立ち、「キーワード:やわらかさ、軽さ、信楽らしさ」のもとデザイン案の学生提案を募った。これをもとに代替案を 12 案選定し(図 9)、1/5 模型とコンセプトスケッチを製作した。次に 1/5 模型とコンセプトスケッチに対して選考アンケートを行った(図 10)。実施日は 2009 年 9 月 10、11 日、アンケート場所は立命館大学 BKC キャンパス、回答者総数は 22 名である。アンケートは表 7 に示すように、①印象評価 3 項目 [やわらかさ、軽さ、信楽らしさ]と自由記述(建築系学生対象)、②施工性評価 6 項目[型枠のつくりやすさ、脱型のしやすさ、打ち込みのしやすさ、仕上げのきれいさ、サイズの正確さ、持ち運びのしやすさ](コンクリート専門教員対象)、③評価は[感じた～感じなかった]の 5 段階からなる。

表 7 本作品決定アンケート項目及び回答者属性

印象評価項目	施工評価項目		
1. やわらかさ	1. 型枠のつくりやすさ		
	2. 脱型のしやすさ		
2. 軽さ	3. 打ち込みのしやすさ		
	4. 仕上げのきれいさ		
3. 信楽らしさ	5. 完成品のサイズの正確さ		
	6. 持ち運びのしやすさ		
性別			
印象評価回答者(建築系学生)	男性(人)	女性(人)	合計(人)
施工性評価回答者(コンクリート専門教員)	11	9	20
	1	1	2



図 10 本作品決定アンケート

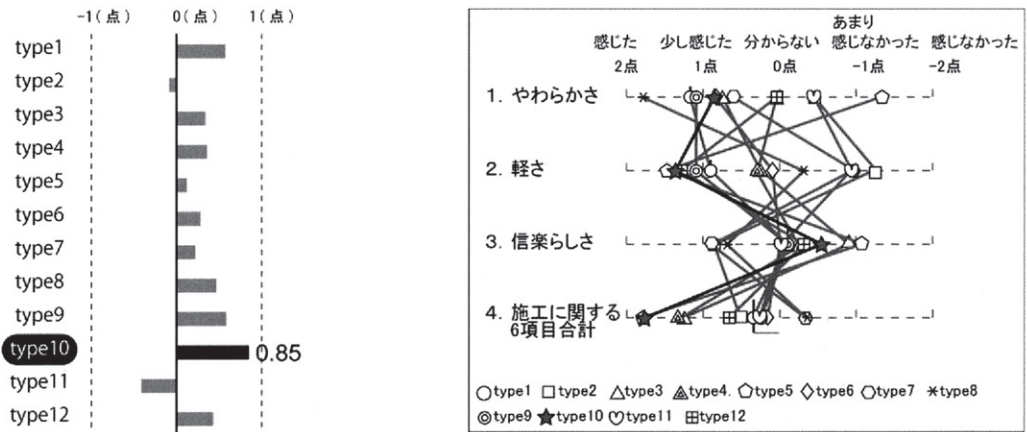


図 11 本作品決定アンケート平均点及び本作品案イメージプロフィール

図 11 にはアンケート集計結果およびイメージ・プロフィールを示した。「感じた:2 点、少し感じた:1 点、分からない:0 点、あまり感じなかった:-1 点、感じなかった:-2 点」で平均点を算出し、type10 を本作品に選考した。施工性評価が最も高く、単純な円筒形部材のみで構成されているため、WEC 打設用の型枠製作が容易と評価されたと考えられる。なお type10 は[やわらかさ・軽さ]で評価されたが、[信楽らしさ]については得点が低い。一方、[信楽らしさ]で得点が高かったのは type2、7、8 であり、この項目については全体フォルム(陶器を連想させる形状)の造形的側面と相関があると予想される。その後本作品を表 8 の使用材料・配合、図 13 の制作フローにより制作した。

表 8 本作品使用材料と配合計算

使用材料	略記	主な性質
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度 : 3.16g/cm <sup>3</sup> )
廃陶器微粉末	P	信楽焼植木鉢 (密度 : 2.63g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S	高槻産硬質砂岩砕砂 (密度 : 2.64g/cm <sup>3</sup> , F.M.=2.79, 吸水率 : 18.4%, 単位容積質量 1.66kg/l)
廃陶器細骨材	Sp	信楽焼植木鉢 (密度 : 2.21g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 12.4%)
有機繊維	V	ダイニーマ (密度 : 0.97g/cm <sup>3</sup> )

Sp/(S+Sp)	(S+Sp)/(C+P)	P/(C+P)	W/(C+P)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和材 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
				W	C	P	S	Sp	V	
70	1	60	50	393	294	440.4	222	452	7.3	1.0

(W: 水, C: セメント, P: 廃陶器微粉末, S: 細骨材, Sp: 廃陶器細骨材, V: 有機繊維)



図 12 使用材料 (廃陶器微粉末・細骨材・有機繊維)



図 13 本作品製作フロー

なおここでは部材が細長く、曲げ荷重に弱いことを配慮して、図 12 に示す有機繊維により補強が行われている。完成した本作品が図 14 である。2009 年 12 月時点で本作品制作が終了し、今後印象評価を行い、WEC の素材感について最終考察を行う予定である。



図 14 本作品完成品

#### 文献

- 1) 井上真澄、岡本享久、平尾和洋、児島孝之「陶器廃材により着色したコンクリートの力学的特性と色彩評価」コンクリート工学、Vol.47、No.2、pp.14-20、2009.02
- 2) 井上真澄、平尾和洋、岡本享久、児島孝之「廃陶器粉末により着色したモルタルおよびコンクリートの物性と色彩」コンクリート工学年次論文集、vol.30、No.2、pp.439-444、2008.07
- 3) 井上真澄、平尾和洋、山本直彦、児島孝之「陶器微粉末により着色したコンクリートの物性と色彩に関する研究」歴史都市防災論文集 Vol.1、pp.217-224、2007.06
- 4) 藤村紗矢、平尾和洋、井上真澄「廃陶器粉末コンクリートを用いた合成画像による景観評価」日本建築学会近畿支部研究報告集第 49 号・計画系、pp.541-544、2009.06
- 5) 樽井勇人、井上真澄、岡本享久、児島孝之「廃陶器により着色したセメント系材料の強度と意匠性評価」平成 20 年度土木学会関西支部年次学術講演会、2008.05