

コンクリート廃材を利用した路盤材の評価

VALUATION FOR ROAD BASE COURSE MATERIALS MADE OF CRUSHED CONCRETE

川久 千雄 * 山下 寿昭 ** 椋本 宏 ***

By Yukio KAWAHISA, Tosiaki YAMASITA

and Hiroshi MUKUMOTO

1. まえがき

近年土木建築構造物等の建設系廃材の発生が増加してその処分に困窮している。アスファルト系廃材については「舗装廃材再生利用技術指針(案)」が作成され、一般化されているが、コンクリート系廃材は同指針に明記されているものの再生利用はあまり一般化していない現状にある。そこでコンクリート廃材を破碎し再生クラッシュランと再生粒調碎石を製造し天然のクラッシュラン粒調碎石との比較を行った。

試験は工場内運搬道路140mを4工区に分け各材料を組み合わせて平板載荷、繰返平板載荷、ベンゲルマンたわみ、現場密度およびFWD試験を実施した。材料の評価は、この結果を基に弾性係数から等値換算係数を推定することにより行った。結論としては天然のものと同等以上の評価が得られた。

2. 室内試験

2.1 使用骨材の品質

使用骨材の品質は現場持込み材料を現場採取して、府

表-1 使用骨材の品質

試験項目	再生Cr	天然Cr	再生M	天然M
粒 度	40mm	100	100	100
	30	83	100	100
	25	—	100	100
	20	—	96	—
	13	—	85	87
	5	47	54	57
	2.5	36	39	37
	0.4	13	13	12
	0.074	3	4	5
単位容積重量 (Kg/ℓ)	1.60	1.72	1.62	1.76
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.83	2.12	1.88	2.06
最適含水比 (%)	13.1	7.2	12.5	6.2
修正CBR (%)	80	80	96	52
一軸圧縮強さ (Kg/cm ²)	—	—	8.7	—
塑性指数 (%)	NP	NP	NP	NP
すりへり減量 (%)	31.1	23.3	22.5	31.4

*新日本製鐵(株)堺製鐵所土木建築エンジニアリングセンター

(〒590 堺市築港八幡町1番地) **新日本製鐵(株)堺製鐵所

***大阪府土木技術事務所 試験課長

土木技術事務所で試験した結果を表-1に示している。

再生クラッシュランは天然クラッシュランのC-30相当品の品質目標で製造したものである。また再生粒調碎石は天然粒調碎石のM-25相当品の品質目標で製造したものである。

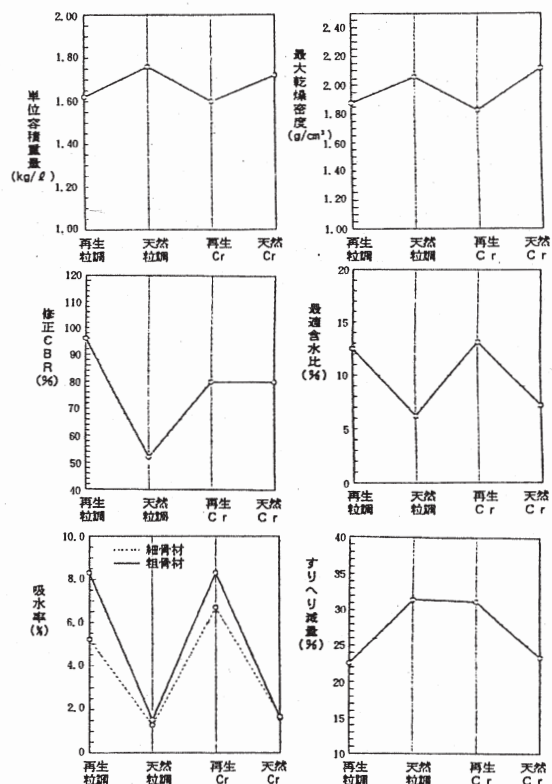


図-1 品質比較

(1) 再生クラッシュラン

修正CBRは80%を示しアスファルト舗装要綱の規格値20%以上を充分満足しており、PIもNPであり規格値6%以下を満足している。一方、天然クラッシュランと比較した場合、下層路盤材の品質規定(修正CBR, PI)に定められている性状については差は認められないものの、すりへり減量、吸水率がやや大きいようである。

(2) 再生粒調碎石

修正CBRは96%を示しアスファルト舗装要綱の規格値80%以上を充分満足しており、PIもNPであり規格値4%以下を満足している。また、すりへり減量は22.5%を示しアスファルト舗装要綱の上層路盤材の規格値50%以下を満足している。

なお大阪府管内コンクリート再生プラントの実態は約20のプラントが稼働しており、大部分は民間用に使われている。各社の品質状況を表-2に示す。各プラントにより、製造フローが異なり、製品も粒調砕石、クラ

ッシュランあるいは改良土と様々であるが、各プラント共、一定の品質のものが製造されている。実路試験では内2社の製品を使用した。

表-2 大阪府下再生材製造実態一覧表

試験項目		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
粒度分布	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	再生路盤材については主体的でなく室内試験等は実施していない。
	30	—	97	100	100	100	100	100	100	100	
	25	85	—	99	95	—	—	—	—	99.5	
	20	76	79	91	—	90	80	75	75	—	
	13	68	—	76	80	73	62	54	—	75	
	5	50	39	48	58	46	39	26	38	48	
	2.5	42	27	35	45	32	28	22	27	37	
	0.4	21	15	14	17	12	10	12	—	14	
	0.074	4	5	3	6	3	3	3	3	4	
修正CBR (%)		104	64	132	51	88	82	215	42	98	—
最適含水比 (%)		13.6	6.4	12.4	7.6	10.7	12.7	13.4	5.8	14.0	—
最大乾燥密度 (g/cm ³)		1.907	2.085	1.87	2.037	1.921	1.918	1.884	2.040	1.849	—
単位容積重量 (Kg/l)		—	1.54	1.64	—	—	—	—	—	1.503	—
表乾比重		—	—	2.45	—	—	—	—	2.65	—	—
吸水率 (%)		—	—	5.2	—	—	—	—	3.1	—	—
すりへり減量 (%)		—	—	31.0	—	—	—	—	—	31.6	—
塑性指数		NP	NP	NP	NP	NP	—	NP	NP	NP	—
一軸圧縮強度 (σ ₁₄)		—	—	12.0	—	—	—	—	—	—	—
最大寸法 (mm)		—	30	—	—	—	—	—	—	—	—
PH		—	—	12.3 (溶出法)	—	—	7~7.4 (土質試験法)	—	7.8 ~ 8.8	—	—
ゴミ木片等異物混入量とその試験方法 (%)		—	—	0.08 比重1.95に浮 (400量による)	—	—	—	—	—	—	—
レイン、アコン等異物混入量とその試験方法 (%)		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
品質管理項目及び品質管理体制		異物の有無を管理者が定期検査 土質試験の定期検査	隣1回/月 締固め度 修正CBR 1回/3月 要員2名	粒度 単重 比重吸水 すりへり 修正CBR 1軸圧縮 1回/3月 大阪府土木技術事務所にて試験	含水量、粒度 P1 試験により異常が認められた場合随時		人力により ゴミ屑等を 手選する。		舗装廃材再生利用指針による。 合材品質を含め試験担当1名+補助1名		再生材に20% アコン舗装要員による。

試験項目	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	㉑	
粒度分布	40 30 25 20 13 5 2.5 0.4 0.074	100 100 — 82 58 28 17 7 2	アスファルト用骨材 を生産 — 100 83 — — 45 35 16 5	— 100 83 — — 45 35 16 5	98 — — 74 — 33 21 12 4	100 100 98 — 63 38 25 12 4	98 86 — 70 58 27 20 11 6	— — — 100 88 58 45 16 4	100 100 — 91 73 52 38 18 9	100 100 — 90 — 47 38 22 8
修正CBR（％）	104	—	80以上	103	50	50	43	—	88	68
最適含水比（％）	12.9	—	—	7.9	7.0	8.2	7.7	—	7.6	9.5
最大乾燥密度（g/cm ³ ）	1.938	—	—	2.180	2.102	2.211	2.146	—	2.150	2.026
単位容積重量（Kg/l）	—	—	—	1.601	—	—	—	—	—	1.7
表乾比重	2.42	—	—	—	—	—	—	—	2.599	—
吸水率（％）	5.9	—	—	—	—	—	—	—	1.76	—
すりへり減量（％）	—	—	50以下	—	—	—	35	—	29	—
塑性指数	NP	—	4 以下	—	3.0	NP	NP	NP	NP	—
一軸圧縮強度（σ ₁₄ ）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
最大寸法（mm）	—	—	—	30	30	25	40	—	—	20
PH	—	—	—	11	—	—	—	12.1 (JIS K 0102)	—	—
ゴミ木片等異物混入量 とその試験方法（％）	—	—	—	JIS A 1105 （有機不純物 試験）による	—	—	—	—	—	—
レジン、アスファルト等異物混入量 とその試験方法（％）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
品質管理項目及び 品質管理体制	—	アスファルト骨材 試験 ①アスファルト抽出 ②抽出試験 ③篩分試験	修正CBR 含水比 アスファルト含有量 他	—	受入管理 異物有無 原料管理 土砂異物検 査除去 生産管理 粒形粒度 製品管理 粒度分布04 その他は外委託	粒度 含水比：随時 突固 修正CBR： 6月1回 旧アスファルト 針入度： 1月1回	—	—	—	改良土を製造

3. 実路試験

3. 1 舗装構造

試験舗装は工場内運搬道路直線部の一部を使用し、4工区に分割した。舗装構造を図-2に示す。

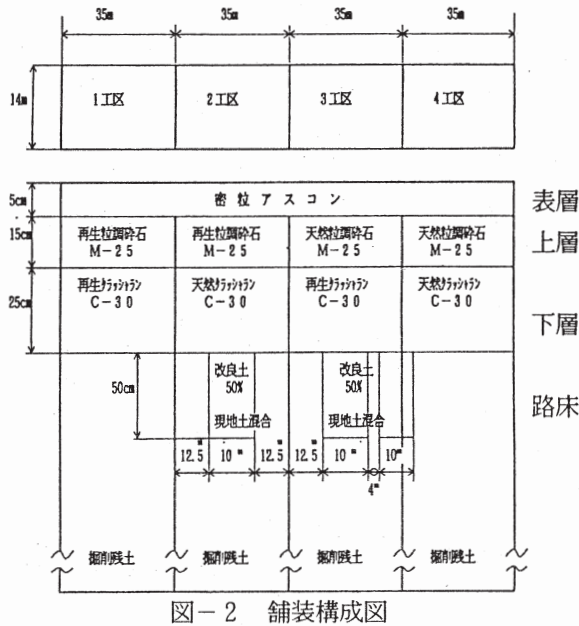


図-2 舗装構成図

3. 3 実路試験結果

実路試験結果を表-3に示す。図-3は表-3に示された各工区毎の累積値を示す。また 図-7は転圧回数と締固め度の関係を示し、施工性を評価するものである

(1) 下層路盤

下層路盤上の変形係数から下層路盤舗設に伴う変形係数の増加を再生クラッシャラン・天然クラッシャラン別に比較すると、

再生クラッシャラン 1工区: $1828 - 688 = 1140$ (下層-路床)

3工区: $1397 - 480 = 917$

平均: 1028 Kg/cm^2

天然クラッシャラン 2工区: $1402 - 679 = 723$

4工区: $1292 - 706 = 586$

平均: 654 Kg/cm^2

再生クラッシャランの方が天然クラッシャランより良好な結果となっている。また、たわみ量では、同様に比較して再生クラッシャランで1.67mm, 天然クラッシャランでは1.94mmの減少であり、大差は認められない。

(2) 上層路盤

下層路盤と同様な比較をすると再生粒調碎石は再生クラッシャランに比べ、変形係数の上昇がやや大きく(再生粒調碎石: 171 Kg/cm^2 天然粒調碎石: -40 Kg/cm^2) たわみ量の減少においても差は無い。(再生粒調碎石:

表-3 実路試験結果

試験項目	工 種	路床工				下層路盤工				上層路盤工				表層工				備 考
	試験日	H元年12月4 日				H元年12月8 日				H元年12月13日				H元年12月26日				
	工 区	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
	上層	—	—	—	—	—	—	—	—	再生	再生	天然	天然	再生	再生	天然	天然	
下層	—	—	—	—	再生	天然	再生	天然	再生	天然	再生	天然	再生	天然	再生	天然	天然	
平板載荷試験	個数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	—	—	—	—	3 段目荷重で評価
	最大	22.5	21.5	8.8	14.8	32.1	31.3	19.3	13.8	45.0	35.8	26.3	27.5	—	—	—	—	
	最小	8.4	19.3	21.7	19.5	39.0	44.0	28.1	40.0	46.9	45.6	44.0	42.0	—	—	—	—	
地盤係数 K 3 0 (Kg/cm ²)	平均	16.7	20.1	13.8	16.8	34.5	35.8	22.8	27.2	45.6	40.8	37.8	36.5	—	—	—	—	
繰返載荷試験	個数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 段目荷重で評価
	最大	823	546	337	649	1389	1295	1138	1679	1851	1673	1453	1548	4400	2464	3591	1706	
	最小	442	797	748	795	2233	1539	1833	997	2151	1498	1165	1079	2639	2193	2036	2190	
変形係数 E (Kg/cm ²)	平均	688	679	480	706	1828	1402	1397	1292	1976	1597	1340	1268	3244	2293	2617	1889	
ベンガルマン試験	個数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	3 段目荷重で評価
	最大	5.02	4.86	4.82	4.02	2.54	2.32	3.12	2.88	1.24	1.42	1.54	1.98	0.70	0.82	0.84	1.24	
	最小	2.94	3.04	2.76	3.08	1.42	1.32	1.64	1.18	0.76	0.98	0.82	1.06	0.44	0.56	0.54	0.90	
最大変位 量 (mm)	平均	3.65	3.77	3.85	3.50	1.81	1.59	2.35	1.80	1.01	1.19	1.17	1.60	0.60	0.71	0.69	1.02	
現場密度試験	個数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	砂置換法による
	最大	—	—	—	—	114	112	114	112	112	109	109	108	—	—	—	—	
	最小	—	—	—	—	118	108	114	108	106	110	108	107	—	—	—	—	
締固度 (%)	平均	—	—	—	—	116	110	114	110	109	110	109	108	—	—	—	—	
	最大	—	—	—	—	10.6	3.8	8.6	2.9	7.5	7.7	2.6	2.8	—	—	—	—	
	最小	—	—	—	—	9.3	3.1	8.0	4.3	8.4	9.0	2.9	3.6	—	—	—	—	
現場含水比 (%)	平均	—	—	—	—	9.9	3.5	8.4	3.6	8.0	8.4	2.7	3.1	—	—	—	—	

0.6mm 天然粒調碎石:0.69mm) なお, 上層路盤において天然粒調碎石で施工した3, 4 工区の変形係数増加が見られないのは, 天然粒調碎石の修正CBR値の低さが影響していることが考えられる。

(3) 施工性の評価

再生クラッシャーラン, 再生粒調碎石共材料の分離は見られず, 天然クラッシャーラン, 天然粒調碎石との差は認められなかった。しかし最適含水比が再生クラッシャーラン, 共12.5~13.1% と高いため充分な散水が必要である。ただ含水比曲線が滑らかなため, 散水量変化には対処しやすい。また図-7に上層路盤で試験した転圧回数と締め固め度の関係を示すが, 転圧回数10回ではややオーバーコンパクションと考えられ8回程程度の転圧が最適と思われる。

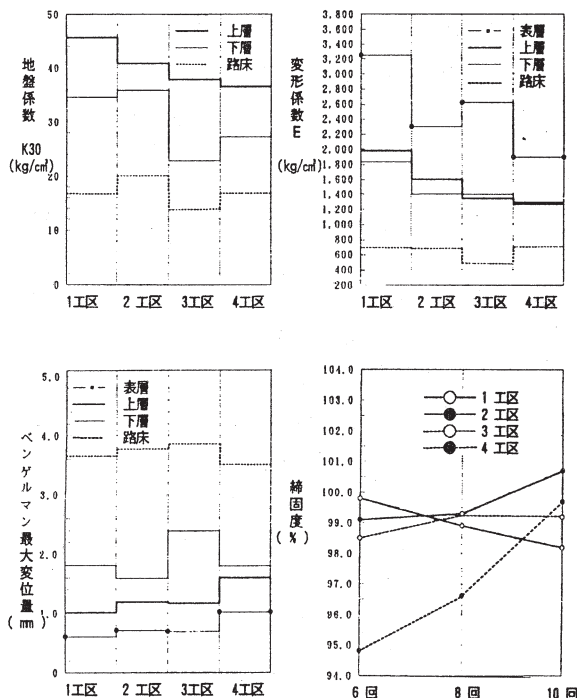


図-3 実路試験結果比較

3. 4 FWD試験による等値換算係数の推定

本現場試験ではFWD(Falling Weight Deflectometer)による, たわみ量調査を実施し, 再生路盤材と天然路盤材を比較した。また測定した, たわみ形状から各層の弾性係数および等値換算係数を逆解析により推定した。

測定方法は, 舗装面に錘の落下による衝撃荷重を与えその衝撃によって生じるたわみ量を荷重直下とその周辺に設置した7個の変位計によって同時計測し, 非破壊により舗装表面のたわみ形状を測定するものである。

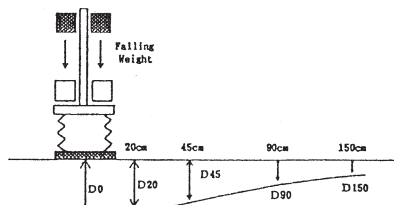


図-4 FWD試験概念

たわみ量測定結果を図-5に表す。本図は表層面のたわみ量を示し, 衝撃点から各距離のたわみ量の測定結果である。なおモデルケースは上層路盤の等値換算係数(a_i)を0.35, 下層路盤の等値換算係数(a_i)を0.25と仮定して計算した理論たわみ量である。

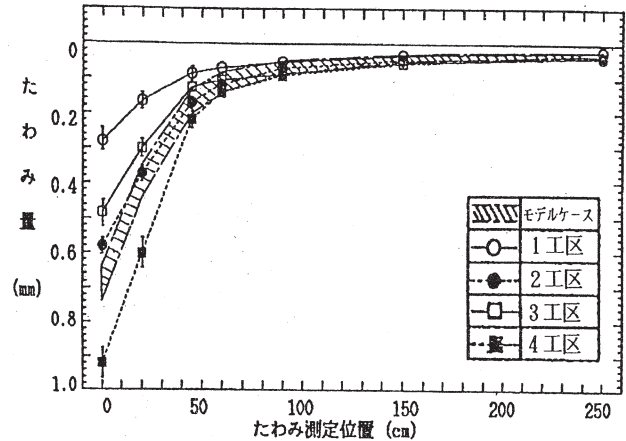


図-5 たわみ測定結果

表-4は, 測定した, たわみ形状から多層弾性理論を用いて逆解析により弾性係数を求め, さらに弾性係数より等値換算係数(a_i)を推定したものである。また表-5は9ヶ月後の同結果を表したものである。

表-4 等値換算係数結果

工区	下層路盤				上層路盤			
	再生材		天然材		再生材		天然材	
	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数
1工区	14690	0.58	—	—	4284	0.41	—	—
2工区	—	—	1434	0.26	3190	0.37	—	—
3工区	74910	0.80	—	—	—	—	1005	0.21
4工区	—	—	3748	0.39	—	—	453	0.10
平均値	44800	0.73	2591	0.34	3737	0.39	729	0.16

表-5 9ヶ月後の変化

工区	下層路盤				上層路盤			
	再生材		天然材		再生材		天然材	
	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数	弾性係数E (kg/cm²)	等値換算係数
1工区	45193	0.65	—	—	18694	0.52	—	—
2工区	—	—	2214	0.31	5911	0.42	—	—
3工区	177137	0.86	—	—	—	—	1346	0.25
4工区	—	—	1113	0.20	—	—	2374	0.32
平均値	111165	0.76	1664	0.26	12303	0.47	1860	0.29

* $a_i = 0.315(\log E) - 0.737$ より推定

図-6, 7は各工区測定数10点の全結果を等値換算係数(a_i)で示した度数グラフである。

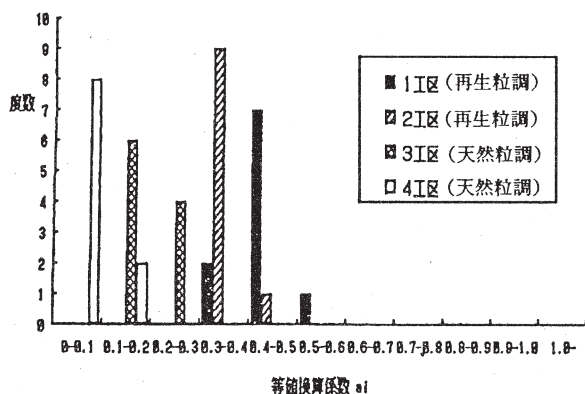


図-6 等値換算係数の分布(上層路盤)

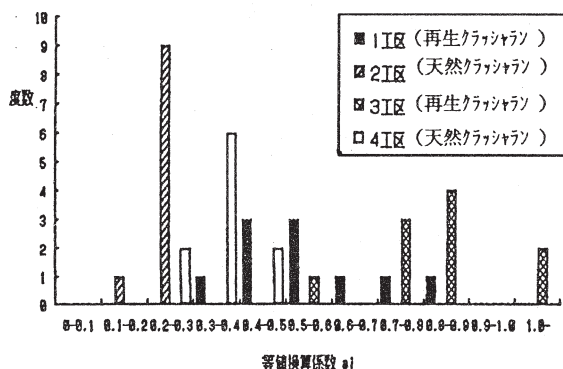


図-7 等値換算係数の分布(下層路盤)

(1) 再生クラッシュラン

再生クラッシュランについて、逆解析結果およびアコン層の弾性係数を一定とした弾性計算から、その弾性係数は12000Kg/cm²以上あり、等値換算係数(a_i)では0.35以上の支持力を有する材料と考えられる。再生クラッシュランは支持力においてアスファルト舗装要綱に示されるクラッシュランと比較して同等以上の材料と評価できる。ただ図-12に示す等値換算係数の度数分布を見ると、分布範囲は広い。

(2) 再生粒調碎石

同様に再生粒調碎石の弾性係数は3000Kg/cm²以上であり等値換算係数(a_i)は0.35以上の支持力を有する材料と考えられ。支持力においてアスファルト舗装要綱に示される粒調碎石と同等の材料と評価できる。更に図-13に示す等値換算係数の度数分布を見ると、分布範囲が小さいことから、支持力から見た品質はバラツキが少ない材料と考えられる。

(3) 長期の安定性

9ヶ月後の等値換算係数の変化は再生クラッシュラン再生粒調碎石とも特に低下は見られず、安定した状態である。

4 あとがき

以上、現場試験結果から再生クラッシュラン、再生粒調碎石の評価を行なったが、現時点では天然粒調および碎石と比較してむしろ良好な結果であった。今後は長期供用性や安定性等を評価していきたい。最後に本研究は再生材利用技術研究会(委員長:(財)大阪産業廃棄物処理公社堺事業部長 梶村兼司)の成果の一部であることを紹介するとともに、御協力頂いた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:アスファルト舗装要綱
- 2) " 舗装廃材再生利用技術指針(案)"
- 3) 日本道路公団:試験規格 KODAN103-1975
- 4) 山田優助:第19回日本道路会議論文集P524-525 1991
- 5) 丸山暉彦助:"FWDによる舗装診断システム" 舗装23-11
- 6) 丸山暉彦助:"FWD クリ測定による舗装健全度調査" 舗装24-9
- 7) 原田尚幸助:"FWD ための温度補正" 土木学会第44回年次学術講演会 平成元年
- 8) 雑賀義夫助:"舗装のため測定から得られる性状値に関する考察" 土木学会第44回年次学術講演会 平成元年
- 9) 丸山暉彦助:"アスファルト舗装の路盤弾性係数" 土木学会第44回年次学術講演会 平成元年
- 10) 阿部長門助:"ための季節変動に関する研究" 土木学会第44回年次学術講演会 平成元年