

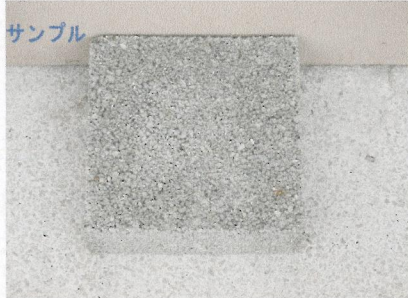
石炭灰有効活用(PQ音版)は道路の
環境負荷を和らげる確実な歩み

PQ音版 テーマ

高規格道路、高速道路の防音材は
防音効果2倍、予算1/2商品

PQ音版は、リ ニューアル・新設は問わない(いつでも施工可能)

PQ音版(素面) サンプル



1. PQ音版は、道路用防音材です。

PQ音版は吸音と遮音が同時に働く希少な材質(石炭灰コンクリート)は、
NETIS申請技術の”実証と確認”の数値は下表による

◆PQ音版 吸音の特性

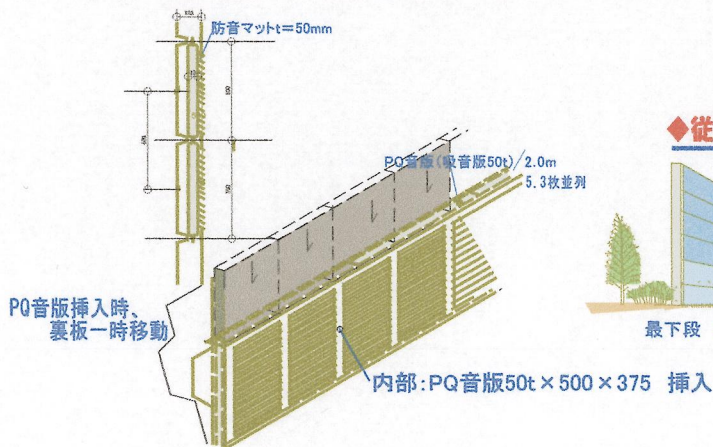
NETIS(新技術情報提供システム)抜粋より

(表-1)

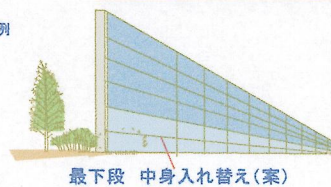
評価項目			①現行基準値等	②現行基準との比較	③申請技術の実証と確認の数値
大	中	小			
		物性	科学的特性値の保存期間	適合	産：中国電力三陽発電所 詳細 省略
	形状	物性	本来有している化学的 特性値の保存期間	適合	シリカ63%、アルミナ17%、酸化鉄13% カルシウム3%、その他4%、保持期間30年 (ボゾラン反応を際け山土に異なる)
		能力	本来有している形状を 保持する期間		モルタルと同じ30年
	能力	吸音性能	吸音率(JISA-1409) 400hz/70%、1000hz/80%以上	不適合	吸音率(JISA-1409) 400hz/18%、1000hz/72%以上
		音圧の減音量	3db以上	適合	6.0dbの減音達成
		自浄性能			酸化チタン混練コンクリートで光触媒を 起こし、表面自浄、大気浄化

1. 統一型遮音板の吸音材をPQ音版に替えて減音する (石炭灰コンクリート 特許：第4082508号)

◆ 吸音材を替えると約3dbの減音(二段なら-6.0db)

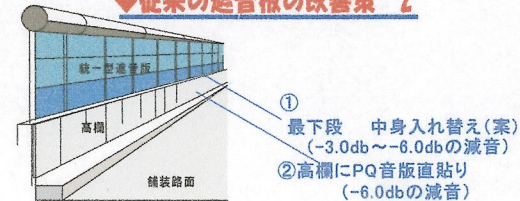


◆従来の遮音板の改善策 1



(図-1)

◆従来の遮音板の改善策 2

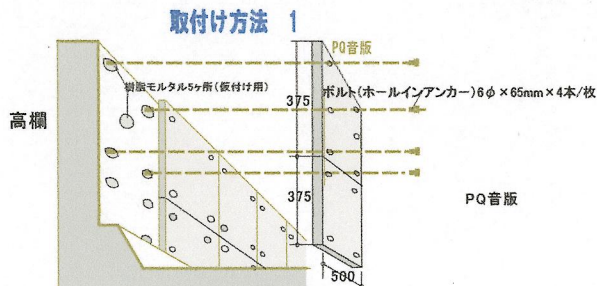


2. 高欄にPQ音版直貼りによる減音(約-6.0db/m²)

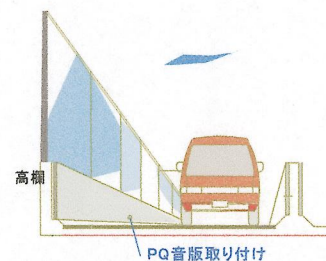
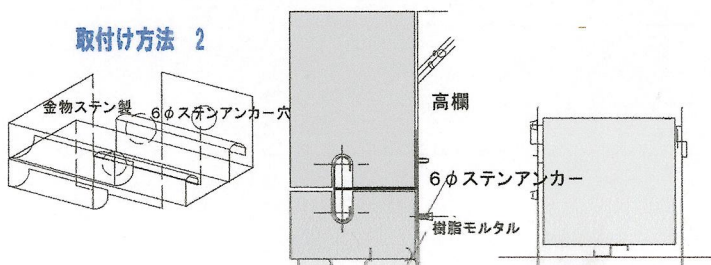
(石炭灰コンクリート 特許：第4082508号) (NETIS: CG-060017A)

2.1 高欄直貼による吸音

◆ PQ音版の取り付けは全て人力とする。
PQ音版 50t×500×375(18kg/1枚)
(石炭灰空隙コンクリート版即脱式圧縮成型版)

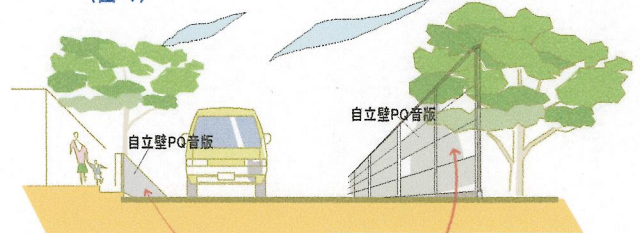


取付け方法 2



2.2 PQ音版(自立型防音壁)

(図-1)



◆ GRC版とPQ音版、複合版



2. PQ音版は石炭灰の循環活用から誕生

PQ音版は、石炭灰が主原料のコンクリート版、吸音を主とした防音材です

2.1 石炭灰の有効活用

- ・石炭灰の有効活用は、平成12年6月循環型社会形成推進基本法制定後廃棄物のリサイクルを促進し、天然資源の抑制、環境負荷の低減が求められた。以後 電力会社の啓蒙もあり石炭灰コンクリートで、焼みを許容する希少なコンクリート製品を開発、製造販売を行った。
- ・中国経済産業局 産業クラスターに参画し、地域の産業廃棄物から新しい素材を作るテーマにより石炭灰のコンクリート作りに成功した。その後 吸音版の諸実験も補助事業の中で実施完成できた。

2.2 石炭灰の化学的性質

クリンカアッシュは赤熱状態でボイラー底部に落下した塊状石炭灰を、破砕機で破砕、粒度調整したもので、赤熱状態から急冷水洗したため化学的に安定しています。

クリンカアッシュは多孔質で、砂と同様な粒状にあるため、その特性を活かし利用されています。

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
クリンカアッシュ	51.6~64.0	17.3~26.9	4.2~10.9	1.0~2.6	2.3~8.8

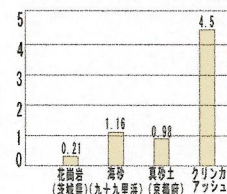
(表-2)

出典：石炭灰ハンドブック

2.3 石炭灰の物理的性質

クリンカアッシュの粒子は、その殆どが細礫と粗砂であり、砂に近い粒度分布になっています。表面を電子顕微鏡で見ると径0.2~2.0μ位の小さな孔隙が多くあいています。このような孔隙は、クリンカアッシュ1gあたり0.148cm³にもなります。1gのクリンカアッシュには、約4.5m²もの表面積があり、細孔が無い同じ直径の粒より約1万倍の表面積がある事になります。

このようにクリンカは孔隙構造になっているので、単位単積重量が砂よりも軽く、透水性、通気性がよく、保水性や保肥性に優れているのでゴルフ場、道路の下層路盤材、岸壁裏込め材、テルアルメなどの軽量盛土に多く利用されています。

各種土壌の比表面積
(日本フライアッシュ協会)

クリンカアッシュの断面

(図-2.1)

2.4 車騒音の現状

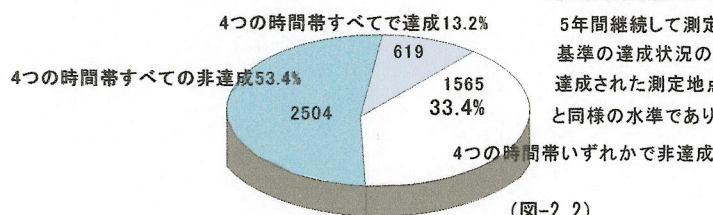
◆平成10年度車騒音の測定結果と課題

Web資料より

1. 全国定点における環境基準の達成状況

全国の定点 (4,688地点) のうち、4つの時間帯 (朝、昼、夕、夜)

の環境基準は下図の通り。



(図-2.2)

2. 継続測定地点における環境基準の達成状況の推移

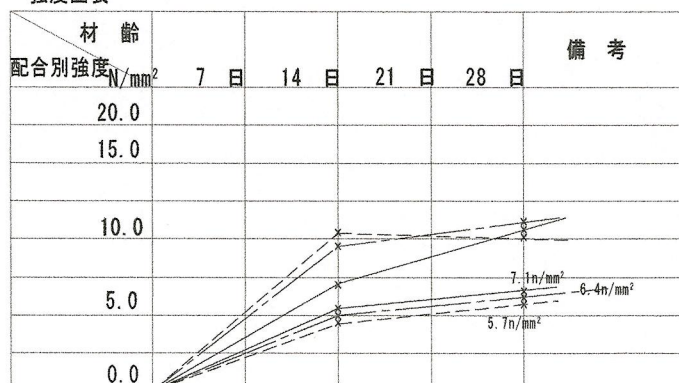
5年間継続して測定を行っている地点 (2,499地点) を対象とした環境基準の達成状況の推移を見ると、4つの時間帯すべてで環境基準が達成された測定地点は、370地点 (12.6%) で前年度の396地点 (12.5%) と同様の水準であり過去5年で見て依然低い水準で推移している。

2.5 石炭灰コンクリートの1軸圧縮試験

強度表

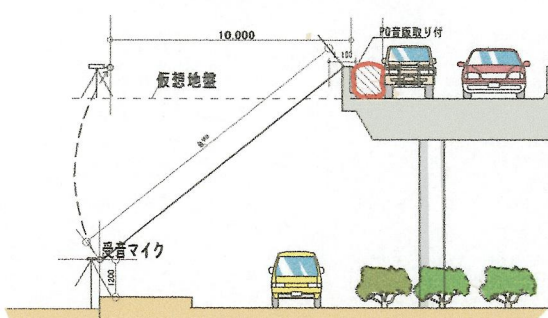
項目	粒度	材齢14日強度		材齢28日強度		備考
		8.0~2.5mm	8.0mm以下	8.0~2.5mm	8.0mm以下	
① 基本配合		5.7	7.1	7.1	10.8	n'インタ'-1.0
② 配合		3.9	9.4	6.4	11.9	n'インタ'-1.25
③ 配合		4.9	10.7	5.7	10.2	n'インタ'-1.5

強度図表



3. PQ音版で道路騒音が減音(-6.0db)する理屈

(音響実験想定原案図 図-3.1)



3.1 減音の発想

車騒音は、タイヤと路面の摩擦音が約70%を占める。左図赤枠の狭い領域にタイヤ騒音(線騒音と見做す)がある。 時速60km/hで車が走行すると、秒速16.7m移動する。その時車も、挟まれた音も密着して移動する・・・と仮説をたてた！ つまり発生したタイヤ騒音は高欄と車の間を約150回/sec水平運動を繰り返す、その間は水平反射であり、よそへ拡散する音は僅かと判断した。

狭い所で圧縮された、大きく強い音を吸収吸音して減音するにはコンクリート面(吸音率2%)を高効率な吸音面に変えること、道路建築線に抵触しない(強く、薄い)吸音材の要求に応える事である。

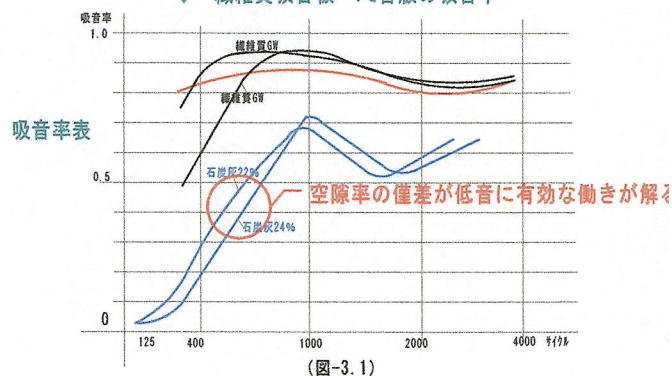
PQ音版(吸音主体)の防音性と、[他の防音材に比較優位]ポイントの諸要素は以下の通り

- 1) 吸音率は65%(500サイクル)程度高くなく、実証実験値は高い(netis資料、石炭灰の潜在能力大)
- 2) 道路法建築線から、吸音材が薄く(5cm厚)強い材質(車の風圧、飛沫に耐え、保護膜不要)
- 3) コンクリート製は耐候性に富む(雨水、熱に強い)
- 4) 騒音の高低音、吸音、遮音の主体性に合わせる製造が容易に可能(配合の変化)
- 5) 資源の安定供給、廉価、耐用年数が高い。

3.2 減音(吸音)の考え

・吸音率 = (1-反射率)、吸音力=吸音率×面積 吸音率が高いのは一般的に繊維質吸音板(グラスウール)とされる、軟質材は反射率が小さく透過音が大きいためつまり抜ける音が吸音率UPの要因、吸音率にのみ拘るのは問題である。
一方石炭灰は、前者に比べ吸音率は相当低い、しかし透過音は少ない、多孔質、比表面積が大きい、この二つの要素により、騒音を材料内に吸収したとき騒音(直進する振動エネルギー)を、大きな表面で摩擦エネルギーに変換して減音する作用になる。
面密度が大きく遮音性にも働く等、吸音率の数値以上の潜在能力があることが窺える。
・PQ音版は、コンクリートの配合と、空隙率を変える事で、低、高騒音に馴染む(左図赤枠:空隙を小にすると低騒音対応)事も確かめられた。
それにより商品の製造範囲が拡がり、製造も容易である。

◆ 繊維質吸音板・PQ音版の吸音率



3.3 車の騒音計算方法・対処法

車の騒音計算は、車1台を点音源として算定した。点音源は音の指向性、指向係数とも1.0である。音の広がりとは下図通り、距離が2倍になると-6.0db減衰する。点音源から発散される音は、全方位放射だけに音は小さくなる。
小さい音は、距離減衰による減音方式でも充分対処できる。



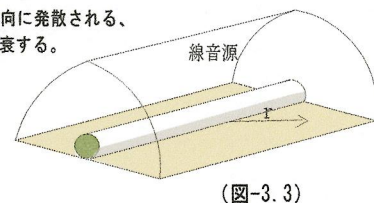
◆音のエネルギーの発散は全方位に放射される、距離が2倍になると-6.0db減衰する。

線音源: 騒音計算方式は前者と変わらない、音が大きく強く、に変わるわる。

音の放射は単一指向性になり、前者に比較して音は強く大きくなる。音の広がりとは、距離が2倍になると-3.0db減衰する・・・線音源の音が強いこと(音)を示している。

強い騒音は遮音板を透過して沿道に出る、出る以前に吸収吸音する吸音版(PQ音版)に音を当て-6.0db減音するのが尤も効率的です。

◆音のエネルギーが円筒状のあらゆる方向に発散される、距離が2倍になると-3.0db減衰する。



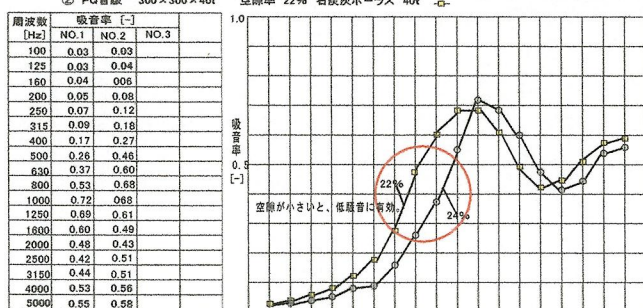
(図-3.3)

3.4 吸音率の測定

1. 空隙率の変化と吸音率の測定

試験場所 広島県立西部工業技術センター
試験方法 残響室法吸音率の測定法
試験時期 平成15年7月~11月

- ① PQ音版 300×300×40t 空隙率 24% 石炭灰ポーラス 40t
② PQ音版 300×300×40t 空隙率 22% 石炭灰ポーラス 40t

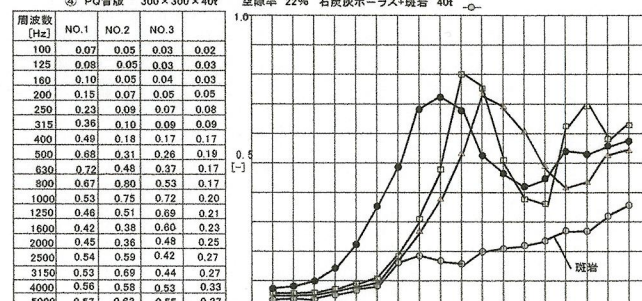


吸音率-1

(図-3.4)



- ① PQ音版 300×300×60t 空隙率 24% 石炭灰ポーラス 60t
② PQ音版 300×300×40t 空隙率 24% 石炭灰ポーラス 40t
③ PQ音版 300×300×40t 空隙率 22% 石炭灰ポーラス 40t
④ PQ音版 300×300×40t 空隙率 22% 石炭灰ポーラス+珪岩 40t



吸音率-2

(図-3.5)

3.3 音の理論による減音値

- ◆ 高欄コンクリート素面に、PQ音版貼り付による 理論式 (04' 07)

$$\Delta L = 10 \log_{10} (\alpha_2 / \alpha_1) \times 1.0 / 1.5 (\text{安全率})$$

$$= 6.36 \text{db} \rightarrow 6.0 \text{db} \text{とする}$$

安全率 : 1.5

α_1 : コンクリート素面の吸音率 2.0%

α_2 : PQ音版の平均吸音率 18.0% (安全率1.5)

透過損失試験場・試験表

透過音試験



室内、フィールド各実験に要したPQ音版2,500枚

1. 音響残響室法吸音率の測定

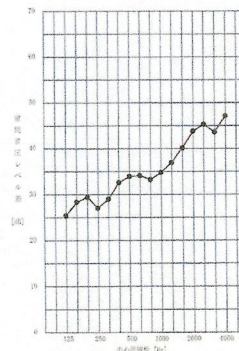


- 試験目的: 複合パネルの遮音部の性能を試験する

GRC25mmパネル



音響透過損失の測定



4. PQ音版で伝播音 フィールド実験から得た減音値 (-6.0db)

PQ音版の、新規性に「吸音と遮音」が同時に働く事が出来る 今までに無い 希少さ! です

4.1 PQ音版を貼り付た 伝播音実験値 (05' 01実施)

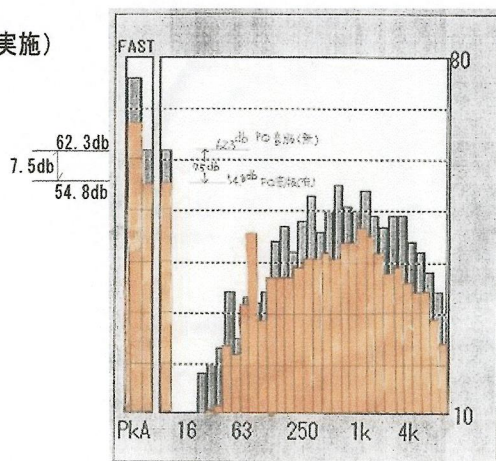
減音 (db) = 伝播音実験値 × 受信音/発信音

$$\Delta L = 7.5 \text{db} \times 75 \text{db} / 91.3 \text{db} (\text{聴感補正をする})$$

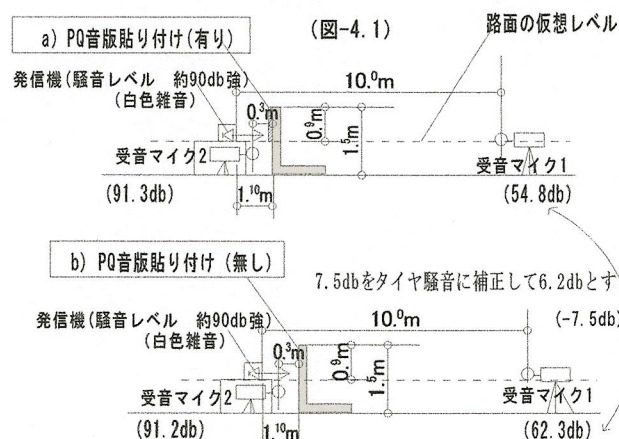
$$= 6.16 \text{db} \rightarrow 6.0 \text{db} \text{とする}$$

4.2 PQ音版、伝播音実験値・実験形式 (05' 01実施)

- ◆ フィールド実験 (伝播音)
測定データ (05' 01実施)



(図-4.2)

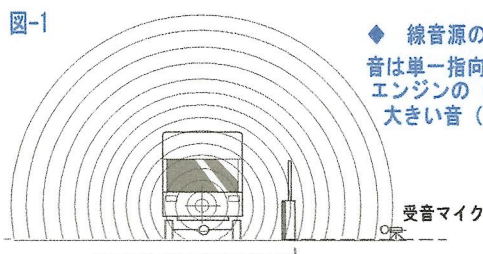


PQ音版の聴感補正として
減音量 $\Delta L = 7.5 \times 75 \text{db} / 91.3 \text{db}$
= 6.16db を -6.0db とする

4.3 音の拡がり・音の指向性 (05' 01実施)

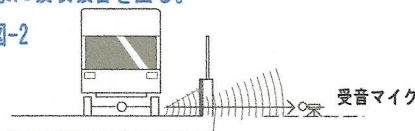
- ◆ 点音源 車の騒音はタイヤと路面の摩擦音が70%、エンジン音、駆動系の音30%と言う
約30%の音が、全方位に放射される。音の指向性、指向係数とも1.0と成るので、タイヤ
騒音と比較すると、音が小さい。小さい音と大きい音を分けて対応する。

図-1



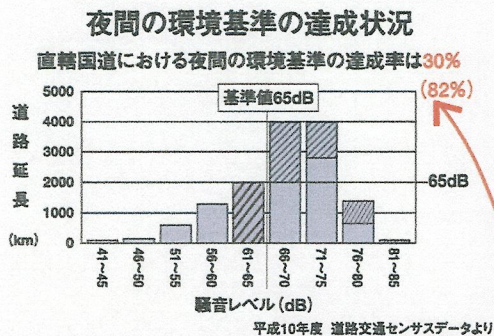
- ◆ 線音源の音 図-2の通りタイヤと路面の摩擦音が(騒音の70%を占める) 大きい音に成る。
音は単一指向性になり発信音の約70%が受信マイクに届く(実験結果)。タイヤ騒音(回転数4.5回/sec
エンジンの(回転数30回以上/sec) から判断して音の周波数も異なる。
大きい音(タイヤ騒音)を対象に吸収吸音を図る。

図-2



1. 道路騒音問題の現況 (国土交通省国土技術政策総合研究所
並河良治氏 資料から引用)

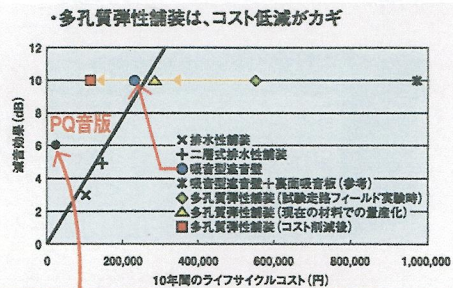
表-1



- ◆ グラフ斜線部分-6.0dbが削除されると、基準達成率は30%が80%飛躍します
- ◆ 中核都市の夜間要請限度の解消も可能です。

2. ライフサイクル コスト

表-2



PQ音版の吸音効果/費用=6db/24,000
他の吸音型遮音壁/費用=10db/200,000

4.4 PQ音版は正しい施工で「新技術とコスト削減」の成果が挙げられます。

- 1) 統一型遮音板の繊維質吸音板をPQ音版に取替え、遮音を高める
 (最下二段) 約3.0db減音を計る。
 (下二段) 約6.0db減音を計る。

・硬いPQ音版は、軟らかい繊維質吸音材より、透過損失が高い。

- ・PQ音版 面密度による透過損失 50 t : 38db
- ・柔らかい繊維質吸音材の透過損失 GW-50 t : 26db
- 透過損失の差12dbが音の透過を防ぐ大きな要素。

- 2) 高欄の受音面にPQ音版を直貼りして、6.0dbの減音。

・建築限界線に要注意

・交通量も増え 車列も長く、車輛の大型化で騒音も線音源に成っている。PQ音版は騒音源の傍で吸収吸音ができる材料強度の有利性がある。

・強大な音は水平に伝播することが、伝播実験に現われた。

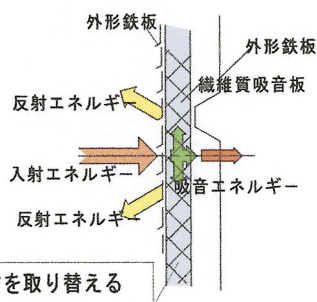
・フルスケールで行った伝播実験はホワイトノイズ(90db強)を発信し、車騒音(70db)より高音で、発信安定した実験を行い聴感補正して減音調整を行った。

4.5 PQ音版に変更する根拠

- ① 統一型遮音板の吸音材、交換する改善案(3.0db~6.0db)

- ◆ PQ音版(厚5cm) : 吸音率 70%/1000サイクル
透過損失 : 38.5db
- ◆ 繊維質吸音板 吸音率 (GW厚50mm) : 吸音率 85%/1000サイクル
透過損失 : 28db

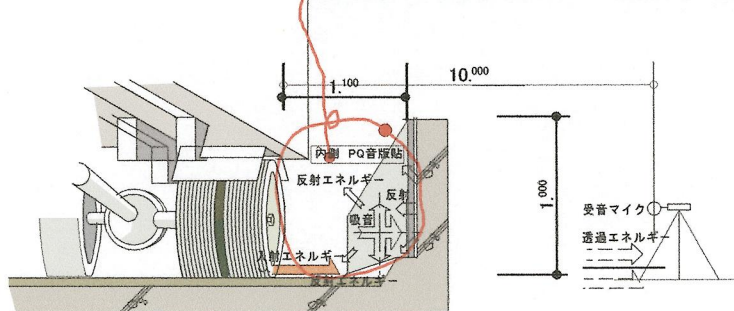
透過損失の差10.5dbは
PQ音版が音を透し難い。



PQ音版 : 軟質吸音材を取り替える

- ② 高欄にPQ音版を直貼する改善案(-6.0db)

タイヤ騒音の放射は水平の反復運動約150回/secになり、音は車と高欄に挟まれ密着状態で共に移動する。高欄側壁にPQ音版を貼り付け、吸音が得策である。



(参考) 減音3.0dbで1車線が減る理由

- ◆ 音の合成 : 1車線走行騒音が70db、2車線で70dbの走行騒音を合成した時、騒音増加量は下式の通り。

$$E = 10 \log_{10} (10^{10} + 10^{10}) = 73\text{db}$$

- ◆ 音の分解 : 2車線走行騒音を、1車線減らすとその減音は下式の通り。

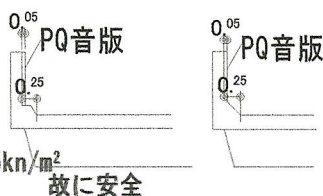
$$E = 10 \log_{10} (10^{10} + 0) = 70\text{db}$$

1車線減る事は、3db減音することになる。

② 高欄へPQ音版の検討

$$\text{PQ音版 } w = 15.7\text{kn/m}^3 \times 1.0\text{m} \times 0.75\text{m} \times 0.05\text{m} = 0.59\text{kn/m}$$

$$w/A = 0.59\text{kn/m} / 9.0\text{m} \cdots \text{片側路面幅} = 0.066\text{kn/m}^2 < \text{路面の上載荷重} 4.90\text{kn} \times 1.5 = 7.35\text{kn/m}^2 \text{ 故に安全}$$



4.6 PQ音版、吸音材変更による既存構造の安全検討OK

① 統一型遮音板の検討

- ◆ 台風時の検討

中味入れ替えでは、受圧面積変わらず検討不要

- ◆ 地震時の検討(下二段入れ替えOK)

PQ音版重量 $W : 15.7\text{kn} \times 2.0\text{m} \times 0.05\text{m} = 1.57\text{kn}$
 $\alpha W = 0.2 \times 1.57\text{kn} = 0.32\text{kn}$
 $EW = 0.32 \times 0.5\text{m} = 0.16\text{kn} \cdot \text{m}$
 アンカーボルト $N = 0.16\text{kn} \cdot \text{m} / 0.14\text{m}$
 $22\phi \times 4\text{本} = 1.15\text{kn} < 25.3\text{kn}$ 故に安全

5. PQ音版の比較優位性

1. 石炭灰は砂比4.0倍の比表面積を持つ、材料内に吸収した騒音を摩擦熱に変換し減音する。
2. 石炭灰は、多孔質と比表面積の大きさが驚異の吸音を生む。
3. 石炭灰コンクリートは強度・耐蝕性・劣化に強い。
4. 石炭灰は、資源の循環活用だから安定供給、廉価である。
5. PQ音版は、単一資源の配合と、積層技術から騒音の高低に対応する。

6. その他 PQ音版の研究・開発はエネルギー・エコ・マテリア（株）と協同で行う。 エコ・マテは中国電力の関係会社

PQ音版「新規性」が低音（登坂路）高音騒音（平坦路）の要求に応じ、価値ある積層技術が防音効果を発揮します。

① PQ音版開発の歩み

PQ音版（素面）サンプル



- ◆ PQ音版の研究開発は エネルギー・エコ・マテリア（株）・台デザイン工房の協同による
- ◆ 石炭灰供給・コンクリートの物性、基礎データは エネルギー・エコ・マテリア（株）の指導監修
- ◆ 車と高欄の「狭い空間」の減音理論につき、広島産学連携推進センター長（広島大 馬場教授）指導・監修による。
- ◆ 音の伝播実験”04経産省クラスター計画”参画して6.0db減音の成果を得て経産省の承認に成る。
- ◆ 石炭灰の焼塊を粉砕した粒子を主原料とした、石炭灰（空隙）コンクリートとして（特許4082508号）取得
- ◆ PQ音版のサイズ 500×375×厚50mm（1種類）道路騒音防止対策（材料）として NETIS認定登録（CG-060017A）
- ◆ 石炭灰コンクリートの室内、外試験は、於：広島県西部技術センター協力、04' クラスター計画内で施行。

② PQ音版と応用製品（商品）

◆1 吸音、遮音、両用、タイプのPQ音版

◆ PQ音版の標準type

◆ PQ音版（積層）オプション両用type

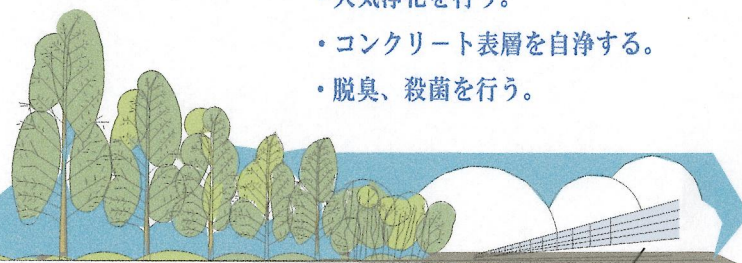


PQ音版の価額

種別	項目	材料費・施工費	運搬費	合計	適要
吸音・遮音タイプ		¥24.000	別途計上	—	
オプションタイプ		¥26.000	別途計上	—	光触媒 酸化チタン入り

酸化チタンを4%混ぜるPQ音版の効果

- ・大気浄化を行う。
- ・コンクリート表層を自浄する。
- ・脱臭、殺菌を行う。



光触媒PQ音版1000mで、ポプラ70本分のNOX浄化能力に相当します。

その他 課題

1. 建築限界線は避ける
2. 凍結融解-15度℃で270回/300回繰り返して融解起こらず。
3. 厳寒地は避ける

◆ 参考文献

「建築環境工学と技術」 斉藤忠利 氏 ほか三氏 共著

PQ音版 Netis 認定登録CG-060017A

特許取得 石炭灰コンクリートの製造方法および石炭灰使用の舗装構造の製造方法 特許第4082508号

募集：石炭灰コンクリート普及会々員 事務局（下記連絡所）

企画 台（うてな）デザイン工房/（株）河本建築事務所
設計

住所 広島市中区宝町10-9 tel・fax 082-243-0120

E-mail utena.kawamoto@snow.ocn.ne.jp

URL : utena@life-creat.com

NETIS CG-060017A
PQ音版は国交省登録技術

資材は特許製品
石炭灰コンクリート版（特許第4082508号）

試験・実験
経済産業省産業クラスター計画・参画