

論文 ポーラスコンクリート製吸音壁の吸音性状に関する実験的研究

中澤 隆雄^{*1}・張 日紅^{*2}・三浦 功^{*3}・今井 富士夫^{*1}

要旨：ポーラスコンクリートの吸音特性に関して、まず管内法垂直入射吸音率測定法によって、供試体表面に設けた凹凸の影響を実験的に検討した。その結果、平滑な表面よりも凹凸のある場合は吸音特性が向上することが確認された。次いで、実際面への適用を念頭において作製した吸音壁について、固定点音源から発生する騒音の吸収性状を検討した結果、壁長よりも壁高や受音高の方が騒音低減に及ぼす効果が大きいことや、音源から発生する500Hz程度以下の周波数に対しては吸音性能はさほどよくないが、500～2000Hz程度の周波数に対しては高い吸音能力を有していることなどが確認された。

キーワード：ポーラスコンクリート、空隙率、吸音率、吸音壁、等価騒音レベル

1. はじめに

高い空隙率を有し、内部表面積の大きなポーラスコンクリートの吸音性状は、近年の研究成果^{1)～5)}によって次第に明らかになってきており、優れた吸音材料としての用途開発も検討されているが、広く実用に供されている状況にはない。そこで本研究は、粗骨材に石灰石および火山性軽量骨材のぼらを用いたポーラスコンクリートの表面に吸音効果の改善のために凹凸を設けた供試体について、まず管内法による垂直入射吸音率⁶⁾を求め、次いで吸音壁としての実用化を目指して、実物大の平板吸音壁供試体を作製し、騒音低減効果について検討を加えたものである。

2. 垂直入射吸音率測定実験

2.1 実験供試体

火山性の軽量骨材であるぼら(粒径5～10mm, 表乾密度 1.33 g/cm³) 管内法による垂直入射吸音率の測定用実験供試体を作製するにあたり、セメントには普通ポルトランドセメント(密度: 3.15 g/cm³)を、粗骨材には石灰石(粒径5～10mm,

表乾密度 2.71 g/cm³, 吸水率 0.15%) および南九州に多く見られる³⁾, 吸水率 113%)を用いた。ポーラスコンクリートの配合を表-1に示す。水セメント比は40%で、目標空隙率は30%である。空隙率の測定はJCIエココンクリート研究委員会「ポーラスコンクリートの空隙率測定方法(案)」⁷⁾の容積法によっている。

パン型水平強制練りミキサ(容量50ℓ)による練混ぜにあたり、まず全粗骨材をミキサに投入した後、全水量の25%を入れ30秒間練り混ぜた。続いてセメントを入れて60秒間練り混ぜた後に残りの75%の水を入れ30秒間練り混ぜた。

表-1 ポーラスコンクリートの配合

骨材種類	骨材粒径(mm)	単位量 (kg/m ³)		
		水	セメント	骨材
石灰石 ぼら	5～10	49	123	1658
	5～10	31	78	856

垂直入射吸音率の測定にあたり、既報^{8), 9)}において空隙率、供試体厚さ、供試体背後や供試体間の空気層厚さの影響を報告しているので、今回は供試体表面の凹凸の影響を検討することに主眼を置いた。実験供試体は、測定装置に適用できるよう

* 1 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 工博 (正会員)

* 2 和光コンクリート工業株式会社 製品開発課 博士(工学) (正会員)

* 3 宮崎大学大学院 工学研究科土木工学専攻

厚さ 100mm で直径 92mm の円柱を用いた。型枠に入れたポーラスコンクリートは 15 回ずつ突き棒にて突き固め、直ちに $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室に置き、24 時間後に脱型した。その時点で空隙率を測定し、材齢 28 日までは水中養生(水温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$)を行った。各供試体の表面部に設けた凹部の一覧は、表-2 に示すとおりである。なお、これらの供試体の目標空隙率は 30% であったが、実測値は全空隙率で 27~33%，連続空隙率で 26~32% の範囲でのばらつきが生じた。

表-2 供試体に設けた孔の一覧

供試体		凹部：四角孔		
ぼら	石灰石	辺長 (mm)	深さ (mm)	孔数 (本)
PU1	CL1	0	0	0
PU2	CL2	13.3	50	1
PU3	CL3	13.3	50	2
PU4	CL4	13.3	50	3
PU5	CL5	13.3	50	4
PU6	CL6	26.6	25	1
PU7	CL7	26.6	50	1
PU8	CL8	26.6	50	2
PU9	CL9	26.6	75	1
PU10	CL10	44.3	50	1

2.2 垂直入射吸音率測定結果

管内法による垂直入射吸音率は、100~2000Hz の周波数領域の 1/3 オクターブ間隔で測定した。図-1 には、ぼらを用いて作製したポーラスコンクリートの供試体表面に設けた孔の相違が吸音率一周波数特性に及ぼす影響を示す。なお、このときの供試体は乾燥状態にある。図-2 には同じく石灰石を用いた場合の結果を示す。図-1 から明らかなように、表面が平滑な場合(PU1)には 500Hz および 1600Hz で吸音率が

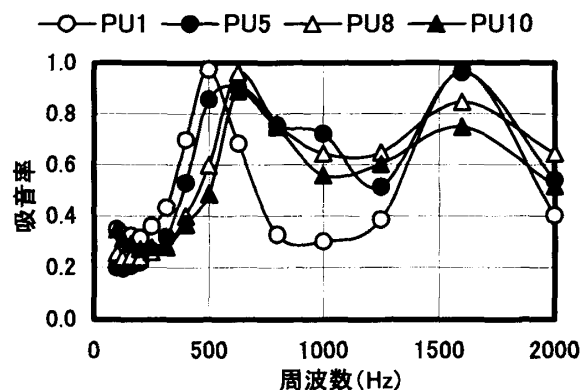


図-1 吸音率一周波数関係 (ぼら)

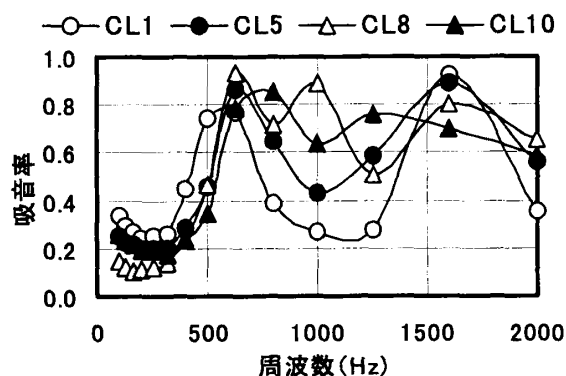


図-2 吸音率一周波数関係 (石灰石)

ずれも 0.97 の高い 2 つのピークが生じてはいるが、800~1000Hz の領域では 0.3 程度の低い吸音率となっている。これに対して、表面に孔を設けた供試体 (PU5, PU8, PU10) では、800~1000Hz の範囲で 0.56~0.76 とかなり高い吸音率が得られており、設置した孔の効果が高いことがわかる。なお、吸音率の第 1 ピークはやや高い周波数へ移行するものの吸音率の値には大きな違いは生じていない。また、第 2 のピークでは吸音率が幾分低下しているものの周波数には差異は生じていない。また石灰石を用いた場合の 26.6mm×26.6mm の大きさで深さ 50mm の孔を 2 つ設けた供試体 CL8 では、特に 1000Hz で吸音率の値が 0.89 である第 3 のピーク周波数が生じていることが特徴として挙げられる。

図-3 には、ぼらと石灰石を用いた供試体 (PU8 および CL8 で孔の設置状況は同一) が乾燥状態にある場合と湿潤状態 (含水率は石灰石供試体で 1.1~1.9%，ぼら供試体で 78~90% の

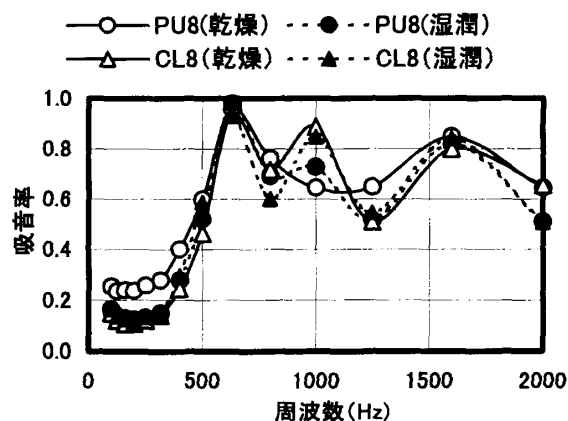


図-3 骨材の種類と乾湿条件が吸音率一周波数間に及ぼす影響

範囲)にある場合、骨材の種類が吸音率に及ぼす影響について検討した結果を示す。同一骨材で比較した場合、乾燥状態では空隙に水を含む湿潤状態よりも空隙が確保されるため、全般的にやや高い吸音率になっている。また、骨材の相違についてみれば、400Hz までの低い周波数域ではぼらがやや高い吸音率を示すものの、いずれも 0.4 以下の低い値しか得られていない。しかし 600Hz 以上の周波数になれば、いずれの骨材を用いても高い吸音率が得られており、特に骨材の相違による影響はないものと思われる。

3. ポーラスコンクリート吸音壁の吸音実験

3.1 実験供試体

垂直入射吸音率の試験結果から、ぼらと石灰石という骨材の相違は吸音率には大きな影響は及ぼさないが、供試体表面に凹凸を設けると吸音効果が高くなることが明らかになった。しかし、これはあくまで小さな供試体を用いた管内法による室内実験から得られた吸音率であるため、吸音壁として実用に供した場合の効果については不明の部分が多い。そこで、ぼらを用いて作製した 500mm×500mm×50mm の平板供試体を組み立てて壁高を 1m, 2m および 3m, 壁長を 3m, 4m および 5m とした吸音壁を設置し、吸音性状について検討することとした。なお今回の実験は、基本的な騒音低減機能について検討することを目的としたものであり、特に平板の表面には凹凸は設けていない。なお、ぼらを用いたポーラスコンクリート平板供試体を作製するにあたっては、表-1 に示したものと同一の配合を用いている。

3.2 吸音壁による騒音低減効果

平板供試体を組み立て、吸音壁として設置した状況を図-4 に示す。騒音発生の音源として用いたポータブル式の発電機は、壁の裏面から 1.5m 離れた位置（地盤からの高さ 0.75m）に設置していることから、この音源は固定点音源と考えることができる。騒音の測定には、普通騒音計を用いた。普通騒音計の設置位置は図-4

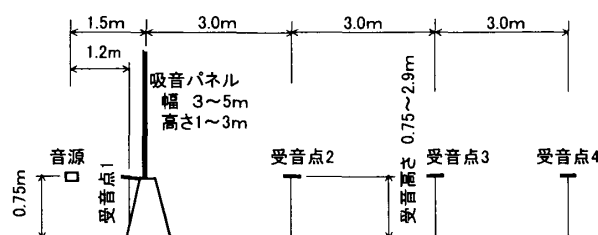


図-4 吸音壁の設置状況と騒音測定位置

に示すように、壁の裏面側では音源から 1.2m（受音高は 0.75m で一定）に 1 カ所、壁の表面側では壁面から 3m, 6m および 9m 離れた 3 カ所に設置した。受音高は、壁面の高さに応じて 0.75~2.9m の範囲で変えている。なお、音源および普通騒音計の設置位置はいずれも壁長の中央部である。

音源から生じる音の周波数特性については、音源から 4.5m 離れた受音点 2（地盤からの受音高 0.75m）において、壁がある場合とない場合とにおいて周波数分析器を用いて解析した。その結果を図-5 に示す。この図から、500Hz 以下の周波数では壁による騒音低減効果は顕著ではないが、500Hz 以上の領域で効果が生じていることがわかる。

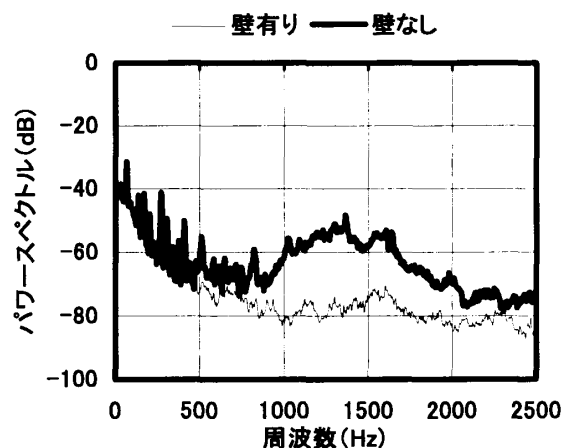


図-5 壁の有無が周波数特性に及ぼす影響（受音点2）

騒音を測定するにあたり、壁の基礎天端（地盤からの高さ 0.75m）からの壁高を 1.0m, 2.0m および 3.0m, 壁長を 3.0m, 4.0m および 5.0m と変えて、壁高および壁長が騒音低減に及ぼす影響を検討した。また、受音点 2~4 での受音高を壁の高さに応じて 0.75~2.9m の範囲で変化さ

せ、受音高の違いによって生じる騒音レベルの差異も検討した。騒音の測定時間は1回あたり15分間とし、等価騒音レベルを求めている。

図-6は、壁長が5mで壁高が1m、2mおよび3mと変化した場合において、受音高が0.75mのときの各受音点での等価騒音レベルを示したものである。図中に示した音源から1.5mの距離における縦の太線は、吸音壁の位置を示したものである。吸音壁がない場合には、音源からの距離が増大するにつれて騒音レベルは緩やかに減少する、いわゆる距離減衰を示しているのに対して、吸音壁が設置された場合には極めて大きな低減効果が生じていることが認められる。この効果は壁高が高いほど大きいことがわかる。

図-7は同じく壁長が5mのときで、壁高が2mおよび3m、受音高が2.3mのときの騒音レベルを壁のない場合と比較して示したものである。吸音壁による騒音低減効果は明確に認められるが、受音高が高いため、壁高の差による騒音レベルの差異はほとんどないことがわかる。図-8は壁長が4mのときに受音高を0.75mとしたときの壁高が騒音レベルに及ぼす影響を、壁のない場合と比較して示している。さらに図-9は、同じく壁長が4mで受音高2.3mの場合について示したものである。図-10は、壁長が3mの場合で受音高が0.75m、図-11は壁長が3mで受音点の高さが2.3mの場合の等価騒音レ

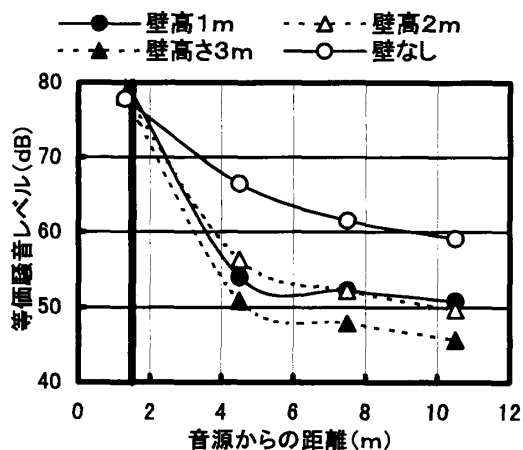


図-6 各受音点での騒音レベル
(壁長5m, 受音高0.75m)

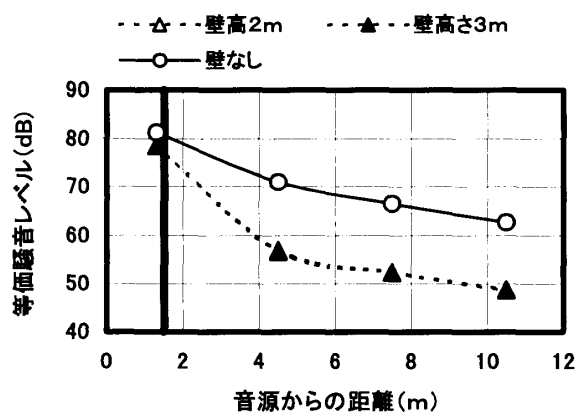


図-7 各受音点での騒音レベル
(壁長5m, 受音高2.3m)

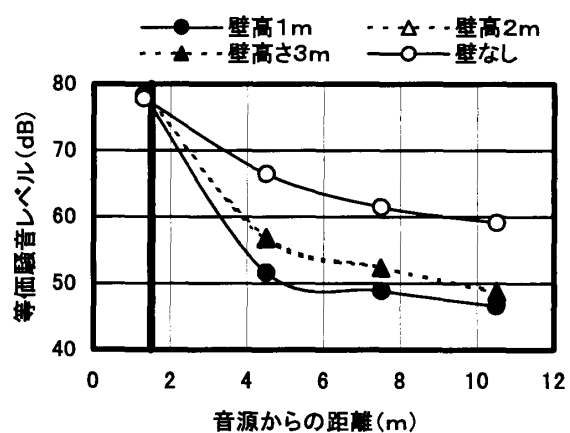


図-8 各受音点での騒音レベル
(壁長4m, 受音高0.75m)

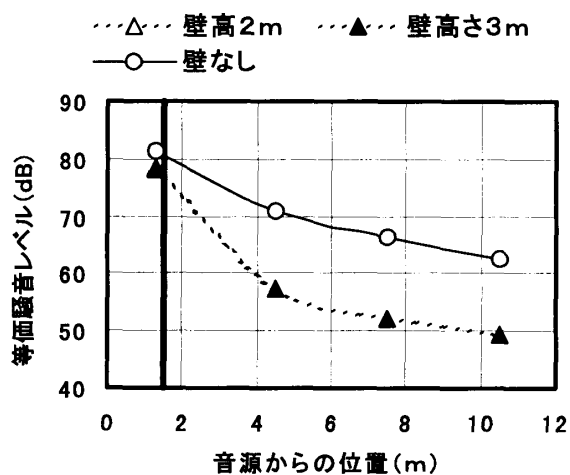


図-9 各受音点での騒音レベル
(壁長4m, 受音高2.3m)

ベルを示している。以上示したとおり、音源から4.5m離れた受音点2での等価騒音レベルは、壁の設置によって最大15dB程度低くなっており、騒音低減効果が大きいことがわかる。また、

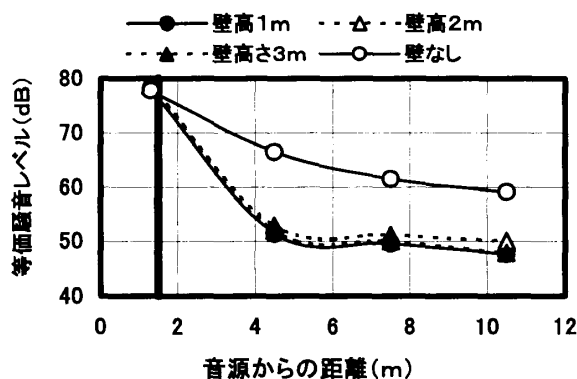


図-10 各受音点での騒音レベル
(壁長3m, 受音高さ0.75m)

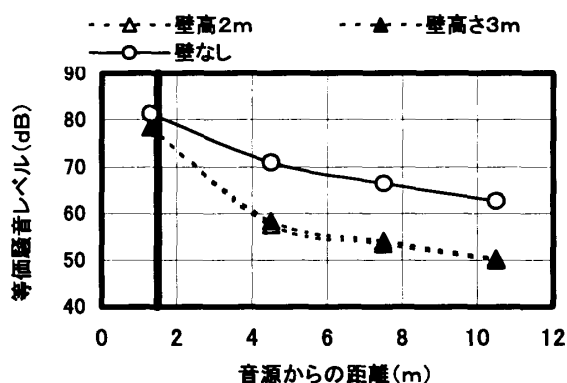


図-11 各受音点での騒音レベル
(壁長3m, 受音高さ2.3m)

壁高が高いほど各受音点の等価騒音レベルは小さくなることを数量的に把握することができた。さらにこれらの図から、受音高が高くなるほど騒音レベルが高くなり、低減効果が失われることも確認された。特に、壁高の底部と上部との等価騒音レベルの差が壁高 3m の場合において最も大きく、およそ 8dB の値となっている。

壁長の違いの影響を検討したところ、壁長が長くなるに伴って騒音レベルは小さくなる傾向にあることがわかるが、低減量はそれほど大きくはなく、壁高の影響ほどはないことがわかる。これは、音源が吸音壁から 1.5m と近いに位置あり、しかも位置が固定された点音源に近い状態であることによるものと考えられる。

なお、発電機を駆動していない場合の暗騒音を測定した結果、41dB 程度のほぼ一定した値が得られており、発電機を駆動したときの壁がない場合の等価騒音レベルの最低測定値よりも 20dB 程度低い値となっている。よって、いずれの場合も暗騒音の影響はないものと考えられる。

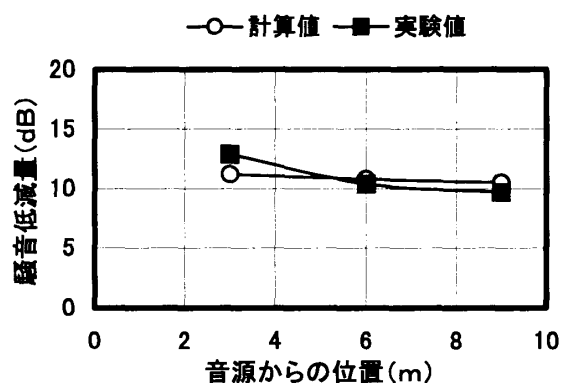


図-12 回折行路差による騒音低減量
(壁高1m, 受音高さ0.75m)

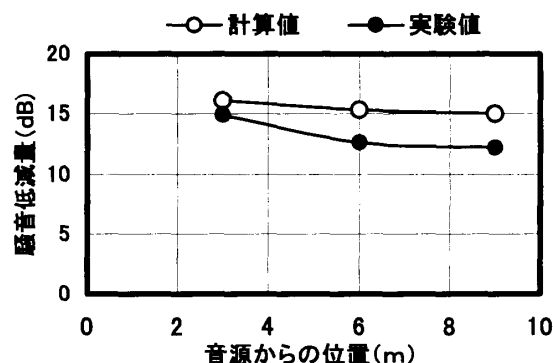


図-13 回折行路差による騒音低減量
(壁高2m, 受音高さ0.75m)

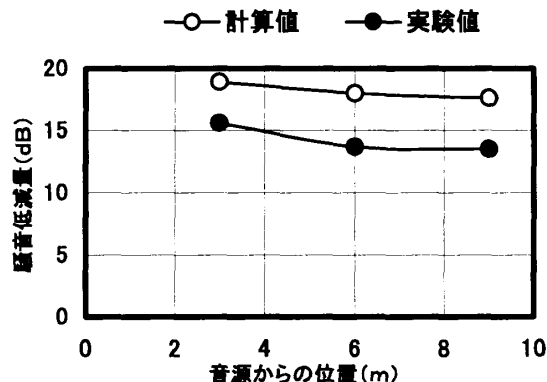


図-14 回折行路差による騒音低減量
(壁高3m, 受音高さ0.75m)

日本道路公団の遮音壁設計要領¹⁰⁾を用いれば、壁の有無による音源から受音点までの回折行路差によって騒音の低減量が算定できる。今回実験に用いたのは吸音壁であり、遮音壁とは幾分機能が異なるため直接的には適用できないと思われるものの、参考として行路差を考慮して求めた騒音低減量の計算値と実験値とを比較した結果を図-12～図-14に示す。なお、これらの図は壁高 1m, 2m および 3m で受音高はいずれも 0.75m の場合の結果である。壁高が高くな

るほど計算値との差が生じてくる傾向にあり、遮音と吸音の違いが生じているものと思われるがその差はそれほど大きなものではなく、最も大きな差でも 4dB 程度となっている。なお本実験では、壁供試体の音響透過損失は測定できていない。よって厳密には吸音体としての壁の評価にまでは至っておらず、今後の課題としたい。

4. まとめ

ポーラスコンクリートの吸音特性について、管内法による垂直入射吸音率測定法によって、供試体表面に設けた孔の影響を検討するとともに、吸音壁としたときの吸音性能を明らかにするための騒音測定実験を行ったところ、次のような結果が得られた。

- (1) 供試体表面に孔を設け凹凸状態とすることによって、表面が平滑な場合よりも垂直入射吸音率の向上を図ることができる。
- (2) 供試体が乾燥状態であれば、湿潤状態の場合よりもやや吸音率が高くなる。
- (3) 今回用いた骨材の種類の違いによっては、吸音率にあまり差異は生じなかった。
- (4) 用いた吸音壁は、音源に含まれる 500Hz 以下の周波数に対してはあまり騒音レベルの低減効果は認められなかったが、500Hz 以上の周波数域では大きな低減効果を有していた。
- (5) 吸音壁を設置すれば、壁がない場合に比較して最大 15dB 程度の騒音低減効果が認められた。
- (6) 壁高が高く、受音高が低いほど騒音低減効果は大きい、壁長の影響は壁高ほどには認められなかった。
- (7) 日本道路公団の遮音壁設計要領を用いて、音源から受音点までの回折行路差による騒音低減量を求めたところ、遮音壁と吸音壁との機能の違いはあるものの、実験結果は計算値と比較的よく合致し、最も大きな差でも 4dB 程度であった。

なお、本研究の一部は文部科学省科学研究費（平成 14 年度～16 年度基盤研究(C)(2)）（課

題番号：14550466)によったものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 堂園昭人, 岡本享久, 藤原浩巳, 上野雅之: 管内法によるポーラスコンクリートの吸音特性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 1, pp. 679-684, 1997. 6
- 2) 玉井元治, 田中光徳: 軽石をまぶしたコンクリートの吸音特性, セメント・コンクリート論文集, No. 46, pp. 892-897, 1992
- 3) 玉井元治, 田中光徳: シラス軽石を用いた多孔質コンクリートの吸音特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp. 711-716, 1994
- 4) 玉井元治, 計良善也, 橋本圭司: NOx を吸着する吸音性コンクリート, セメント・コンクリート論文集, No. 51, pp. 870-875, 1997
- 5) 松尾伸二, 丸山久一, 清水敬二, 江本佑橘: 透水コンクリートの透水・透湿・吸音特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 525-530, 1993
- 6) JIS A 1405 「管内法による建築材料の垂直入射吸音率測定方法」
- 7) 日本コンクリート工学協会: コンクリート研究委員会報告書(自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望), 1995. 11
- 8) 張雪梅, 中澤隆雄, 新西成男, 濱山征也: ポーラスコンクリートの骨材粒径および空隙率が吸音特性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 1, pp. 163-168, 2001
- 9) 張雪梅, 中澤隆雄, 今井富士夫: ポーラスコンクリートの吸音特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 1161-1166, 2002
- 10) 日本道路公団「設計要領」第 5 集, 第 12・10 編「遮音壁設計要領」3・3, 遮音壁の音響性能および試験方法, 平成元年 4 月