

ラテライトを用いたセメントモルタルに関する実験的研究

Experimental Study on Properties of Mortar Using Laterite Sand as Fine Aggregate

三田研究室

センリー

SENGLY

シラモンコル

SILAMONGKUL

1. はじめに

東南アジアの建設用河川砂は、都市化に伴い不足が深刻化し、環境破壊や採取規制が問題となっている [1]。そこで本研究では、カンボジアに豊富にあるラテライト(赤土)に着目する。多孔質だが未利用であるラテライトの細骨材としての適用性を評価し、さらに混和材のフライアッシュ (FA) または高炉スラグ(BF) による強度改善効果を検討することを目的とする。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

使用材料の物理的性質を表 1 に示す。試験体には普通ポルトランドセメントを使用した。比較用細骨材として珪砂を用い、カンボジア産ラテライトの模擬材料として、ラテライトサンド (赤土) を使用した。特筆すべき点として、本実験で使用したラテライトの密度は珪砂と同値であった。

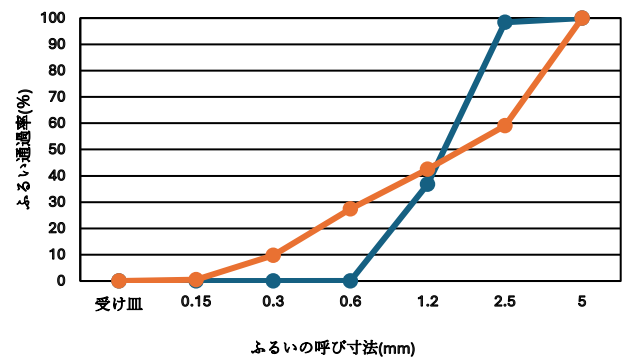
図 1 の粒度分布曲線より、ラテライトは珪砂よりも微粒分を多く含んでいることが明らかであり、これが調合の単位水量に大きく影響を及ぼす。

表 1 使用材料の物理的性質

種類	性質
セメント (C)	普通ポルトランドセメント、密度 : 3.16 g/cm ³
骨材 (S)	珪砂、密度:1.99g/cm ³ 、吸水率:0.89%
ラテライト (L)	密度:1.99g/cm ³ 、吸水率:2.38%
高炉スラグ微粉末 (BF)	密度:2.91 g/cm ³
フライアッシュ (FA)	密度:2.22 g/cm ³

2.2 調合計画

調合計画を表 2 に示す。水セメント比は、締固め可能な流動性を確保するため、予備実験を行い、60, 70, 80 (%) とした。珪砂に対するラテライトの置換率は、質量比で 0, 25, 50, 75, 100 (%) とした。なお、置換は質量により行った。混和材を添加したモルタルにおいては、ラテライト 100%配合のセメントの 15%を FA また BF に置換し、その強度および密度の改善効果を検討した。



● 珪砂 ● ラテライト

図 1 細骨材の粒度分布曲線

表 2 モルタルの調合計画一覧

W/C (%)	A/C	L/A (%)	単位質量 (kg/ m ³)			
			C	W	S	L
60	1	100	704	423	0	704
		75	704	423	176	528
		50	705	423	352	352
		25	705	423	528	176
		0	705	423	705	0
70	2	100	494	346	0	989
		75	494	346	247	742
		50	495	346	495	495
		25	495	346	742	247
		0	495	346	989	0
80	3	100	381	305	0	1142
		75	381	305	286	857
		50	381	305	571	571
		25	381	305	857	286
		0	381	305	1143	0

2.3 試験体作製

モルタルはモルタルミキサーを用いて練り混ぜた(空練り 1 分、本練り 3 分)。試験体は図 2 に示すように 40×40×160 mm の角柱およびφ50×100 mm の円柱を作製し、24 時間後に脱型し、試験時まで 20℃で水中養生を行った。

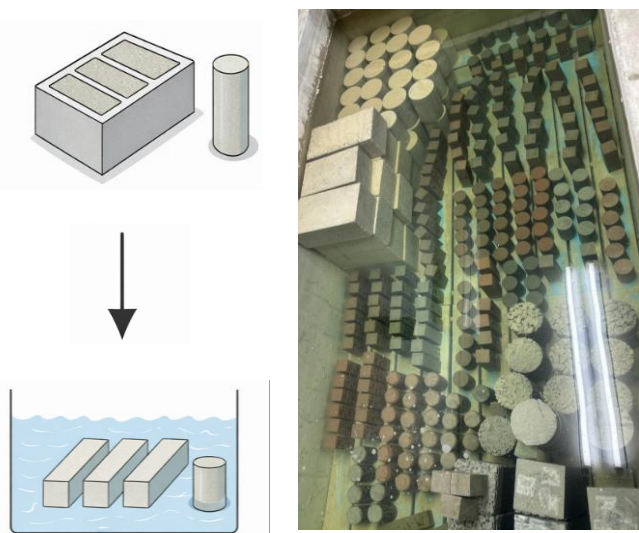


図 2 試験体作製

3. 実験結果

3.1 物理的性質（プレーン配合）

図 3 に吸水率試験の結果を示す。ラテライトは吸水率を高めるといった当初の想定に反し、ラテライト置換率の増加に伴い吸水率は減少した。これは、図 1 の粒度分布曲線で示されたラテライトに含まれる微粒分が、モルタル内の空隙を充填し、細孔の連続性を阻害したためと推察される。

図 4 に試験体の密度との関係を示す。ラテライト置換率の増加に伴い、密度は減少傾向を示した。本実験で使ったラテライトと珪砂の密度は共に 1.99 g/cm³で等しいため、この低下は材料自体の重量差によるものではない。図 1 で示されるようにラテライトは微粒分を多く含むため、打設時の締固めが困難となり、その結果として巻き込み空気（気泡）がわずかに増加したことと起因すると考えられる。

3.2 圧縮強度（プレーン配合）

図 5 に材齢 7 日および 28 日の圧縮強度を示す。特に富配合 (W/C 0.6) において、顕著な強度の改善傾向が見られた。一般に多孔質骨材の使用は強度低下を招くとされるが、本実験の結果では、ラテライト置換率の増加に伴い圧縮強度はわずかに増加した。

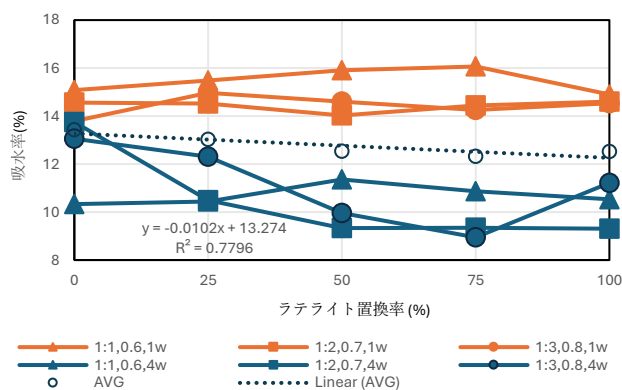


図 3 ラテライト置換率と吸水率の関係

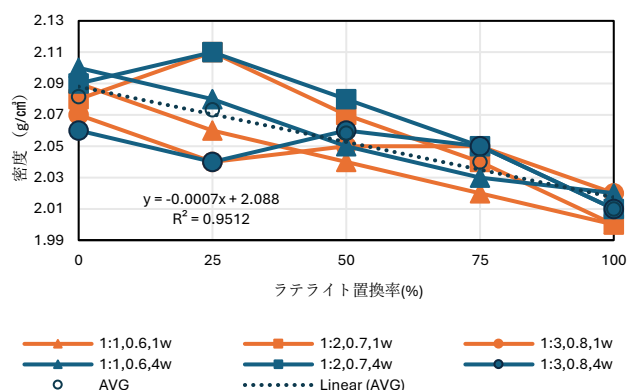


図 4 ラテライト置換率と密度の関係

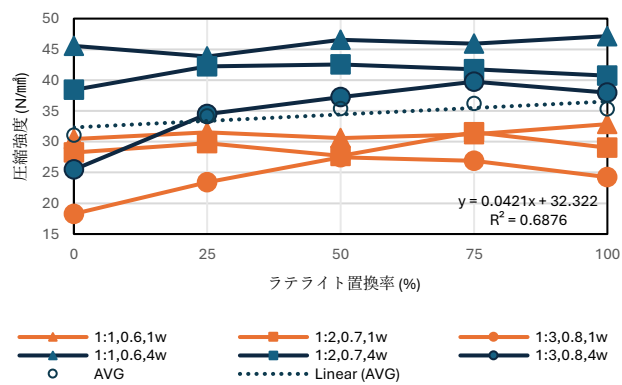


図 5 ラテライト置換率と圧縮強度の関係

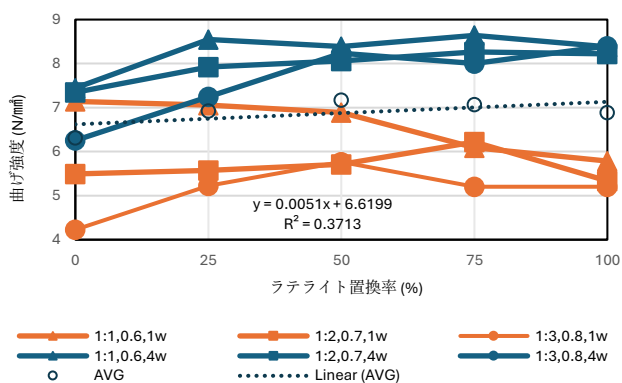


図 6 ラテライト置換率と曲げ強度の関係

3.3 曲げおよび割裂引張強度（プレーン配合）

図6および図7に、表2に示すプレーン配合の曲げ強度と割裂引張強度を示す。いずれの特性も、ラテライト置換率の増加に伴いわずかな増加傾向を示した。

この強度の改善はインターロッキング効果[2]に起因すると考えられる。表面が滑らかで丸みを帯びた川砂とは異なり、破碎されたラテライト粒子は粗く角張った表面形状を有している。この表面の粗さが骨材とセメントペースト間の物理的な噛み合わせを高めた。その結果、モルタルの引張および曲げ強度に対する抵抗性が向上したことから、ラテライトの付着強度は川砂よりも優れていることが示唆された。

3.4 混和材の影響（ラテライト 100%）

次にラテライト 100%配合の更なる性能改善を目的として、セメントの 15%を FA および BF に置換した。図8に圧縮強度を示す。BF 配合はプレーンおよび FA 配合を大きく上回り、約 54 N/mm²に達した。これは、ラテライトの内部水を利用してスラグの潜在水硬性が促進されたことに起因すると考えられる。図9に曲げ強度を示す。W/C 0.6において、FA 配合はプレーンおよび BF 配合よりもわずかに高い強度を示した。

3.5 混和材による引張特性および物理的性質

図10に割裂引張強度の結果を示す。BFの添加により、付着性能が向上し、引張強度が顕著に改善された。

図11および図12は試験体の密度と吸水率を示している。BFの添加によってモルタルの密度は増加し、それに伴い吸水率が低下する傾向が確認された。これは、セメントペーストとラテライトの構成比において、密度が増加するほど緻密化し、吸水が抑制されることを示している。

4. 考察

4.1 密度および吸水率の相関

図13に試験体の密度と圧縮強度の関係を示す。密度が高いほど強度が大きくなるという一般的な傾向に反し、本研究では極めて低い相関 ($R^2=0.0041$) が観察された。このことは、本実験における圧縮強度が材料の密度にはほとんど支配されていないことを示唆している。

図14に吸水率と圧縮強度の関係を示す。両者の間には負の相関 ($R^2=0.5989$) が認められた。吸水率の増加にみられる空隙率の増大に伴って圧縮強度は低下しており、ラテライト骨材の作用が強度発現における要因となっていることが確認された。

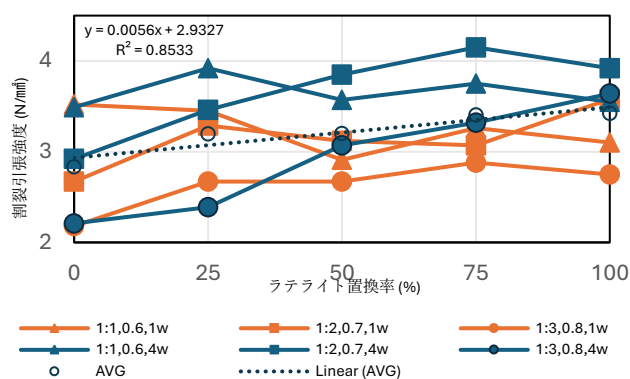


図7 ラテライト置換率と割裂引張強度の関係

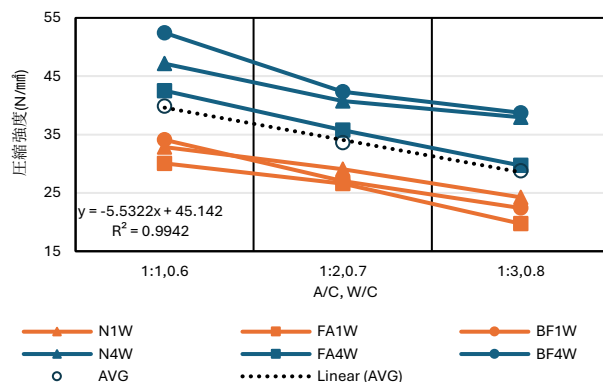


図8 混和材が圧縮強度に及ぼす影響

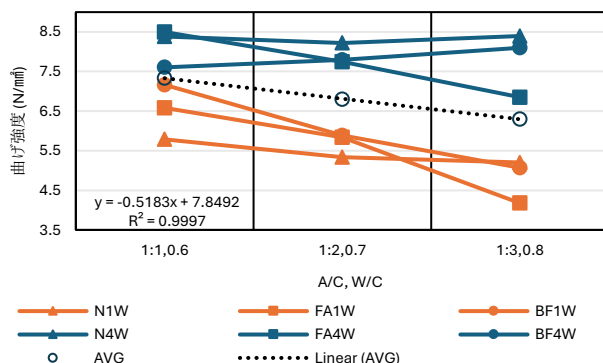


図9 混和材が曲げ強度に及ぼす影響

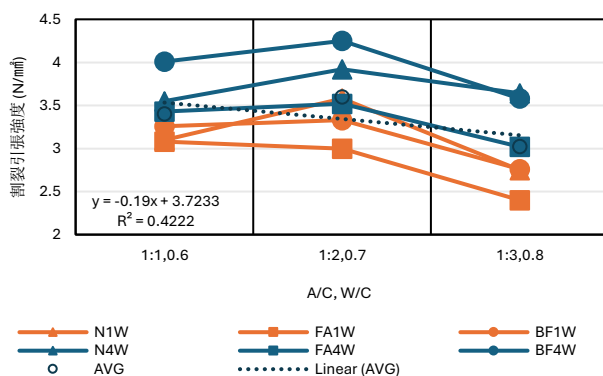


図10 混和材が割裂引張強度に及ぼす影響

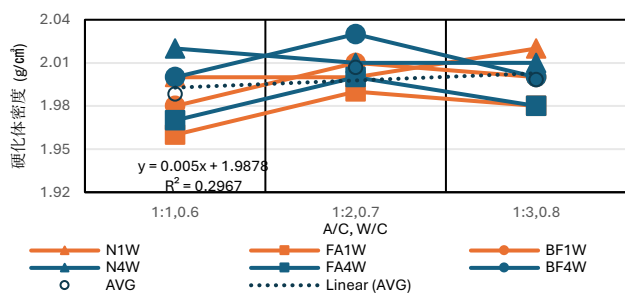


図 11 混和材が密度に及ぼす影響

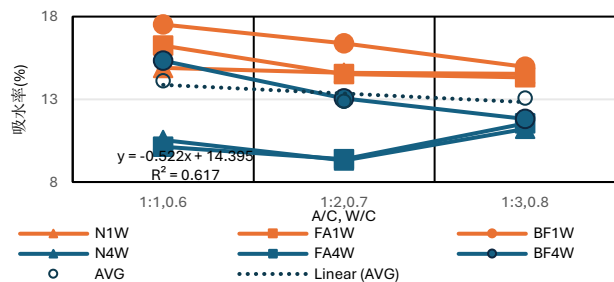


図 12 混和材が吸水率に及ぼす影響

4.2 強度

図 15、16 に圧縮強度と曲げ強度および割裂引張強度との関係を示す。圧縮強度と曲げ・引張強度の間に正の相関が確認された（曲げ $R^2=0.83$ 、引張 $R^2=0.55$ ）。引張強度は圧縮強度の約 1/10 を維持しており、多孔質骨材による脆性化は見られなかった。これは、ラテライトの粗い表面形状がインターロッキング効果（機械的噛み合わせ）を高め、付着性能を向上させたためと考えられる。

5. 結論

本研究により、ラテライトはカンボジアにおける有効な代替骨材であることが確認された。

代替可能性：富配合（W/C 0.6）では、内部養生とファイラー効果により、100%置換でも実用的な強度（約 32 N/mm^2 ）を維持した。

力学性能：骨材表面の粗さによるインターロッキング効果により、高い曲げ・引張強度を維持した。

混和材：高炉スラグ（15%）は内部水との相乗効果でマトリックスを緻密化し、強度を約 54 N/mm^2 へ大幅に向上させた。一方、FA の効果は限定的であった。

支配要因：強度は密度ではなく吸水率（空隙）に支配されるため、スラグによる細孔充填が高強度化に最も適している。

参考文献

- [1]UNEP 2022<https://www.unep.org/resources/report/sand-and-sustainability-10-strategic-recommendations-avert-crisis>
- [2]<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884601006688>

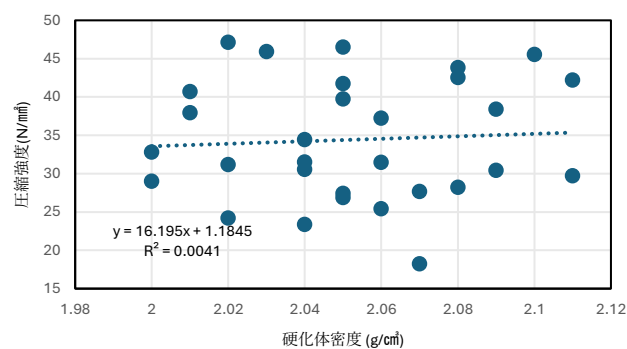


図 13 密度と圧縮強度の相関

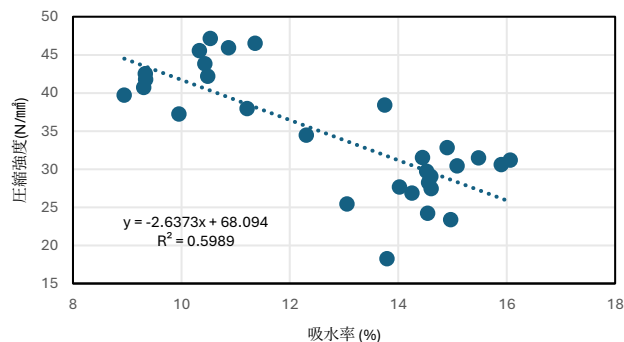


図 14 吸水率と圧縮強度の相関

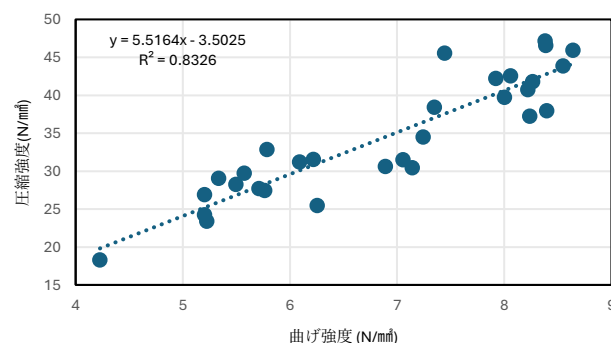


図 15 圧縮強度と曲げ強度の関係

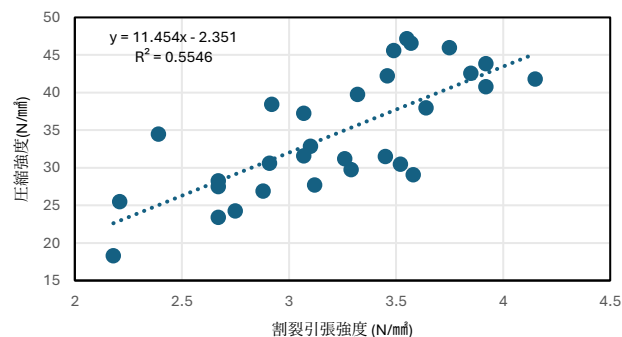


図 16 圧縮強度と割裂引張強度の関係

Experimental Study on Properties of Mortar Using Laterite Sand as Fine Aggregate

Mie University, Faculty of Engineering | ID: 422748 | Name: SENGLY SILAMONGKUL
Supervisor: Prof. Noriyuki Mita

1. Introduction

Concrete is the most widely consumed construction material globally. Historically, river sand has been the primary source of fine aggregate due to its favorable particle shape and inert chemical nature. However, Rapid urbanization in Southeast Asia, particularly in Cambodia and Vietnam, has led to a critical shortage of natural river sand. Excessive mining in the Mekong River basin has caused severe environmental degradation, prompting regulations that necessitate sustainable alternative aggregates. This study focuses on Laterite Sand (Red Clay), an abundant local resource. Although currently underutilized in concrete due to its high porosity, this characteristic allows for 'Internal Curing,' where absorbed water is released slowly to aid cement hydration. The objective of this research is to evaluate the feasibility of replacing river sand with Laterite in mortar and to investigate the synergistic effects of Fly Ash and Blast Furnace Slag.

2. Experiment Overview

2.1 Materials

The physical properties of the materials are summarized in Table 1. Ordinary Portland Cement (Density 3.16 g/cm^3) was used as the binder. The control fine aggregate was standard River Sand (Density 2.58 g/cm^3). To simulate Cambodian Laterite, Japanese Tennis Court Laterite (En-tout-cas) was used. The Laterite is characterized by a significantly lower density (1.99 g/cm^3). Sieve analysis (Fig. 1) revealed that Laterite contains a higher percentage of fine particles (silt/clay fraction) than river sand, which significantly influences the water demand and rheology of the mix.

Table 1: Material Properties

Type	Properties
Cement (C)	Ordinary Portland Cement, Density: 3.16 g/cm^3
Aggregate (S)	Silica Sand, Density: 1.99 g/cm^3 , Water Absorption: 0.89%
Laterite (L)	Density: 1.99 g/cm^3 , Water Absorption: 2.38%

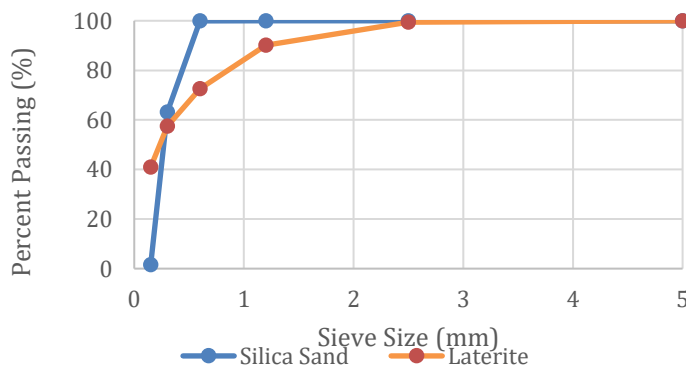


Fig 1: Sieve Analysis Curve

2.2 Mix Proportions

The mix proportions are shown in Table 2. Three Water-Cement ratios (W/C 0.6, 0.7, 0.8) were selected based on preliminary flow trials to ensure adequate workability. Sand replacement ratios were set at 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% by weight. A critical experimental factor is that replacement was done by weight; since Laterite is lighter than sand, the total aggregate volume increased in Laterite mixes, increasing the surface area to be coated by cement paste.

Table 2: Mix Proportions

A/C	W/C (%)	L/A (%)	Unit Mass (kg/m^3)			
			C	W	S	L
1	60	100	704	423	0	704
		75	704	423	176	528
		50	705	423	352	352
		25	705	423	528	176
		0	705	423	705	0
2	70	100	494	346	0	989
		75	494	346	247	742
		50	495	346	495	495
		25	495	346	742	247
		0	495	346	989	0
3	80	100	381	305	0	1142
		75	381	305	286	857
		50	381	305	571	571
		25	381	305	857	286
		0	381	305	1143	0

For the admixture series, 15% of the cement was replaced by Fly Ash (FA) or Blast Furnace Slag (BF) in the 100% Laterite mixes to evaluate their ability to refine the pore structure.

2.3 Specimen Preparation

Mortar was mixed using a standard Hobart mixer (Dry mix 1 min -> Wet mix 3 min). Specimens were cast into prisms ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$) and cylinders ($\phi 50 \times 100 \text{ mm}$), demolded after 24 hours, and water-cured at 20°C until testing.

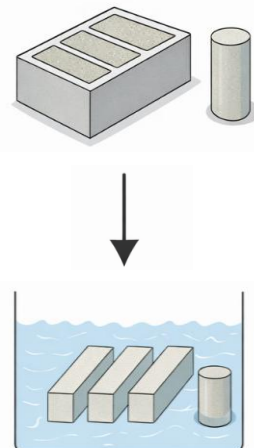


Fig 2: Preparation

3. Experimental Results

3.1 Physical Properties (Plain Mixes)

Fig. 3 illustrates the results of the Water Absorption test. Contrary to the initial assumption that porous aggregates would increase permeability, the results showed that water absorption decreased as the Laterite replacement ratio increased. This unexpected improvement is attributed to the "Filler Effect." The Sieve Analysis (Fig. 1) indicated that Laterite sand contains a high percentage of fine particles. These fine particles likely filled the capillary voids within the mortar matrix, interrupting the pore network and reducing the overall permeability of the hardened mortar.

Fig. 4 shows the Hardened Density. The density showed a slight decreasing trend as the Laterite replacement ratio increased. Since the specific gravity of the Laterite sand (1.99 g/cm³) is identical to the River Sand (1.99 g/cm³) used in this experiment, the reduction in density is not due to material weight. Instead, it is attributed to Workability and Compaction. As noted in the fresh properties observation, the Laterite mixes were more cohesive and sticky. This likely led to a slight increase in entrapped air voids during the casting process, lowering the overall bulk density of the specimens, even though the capillary structure was denser (as shown by the lower absorption).

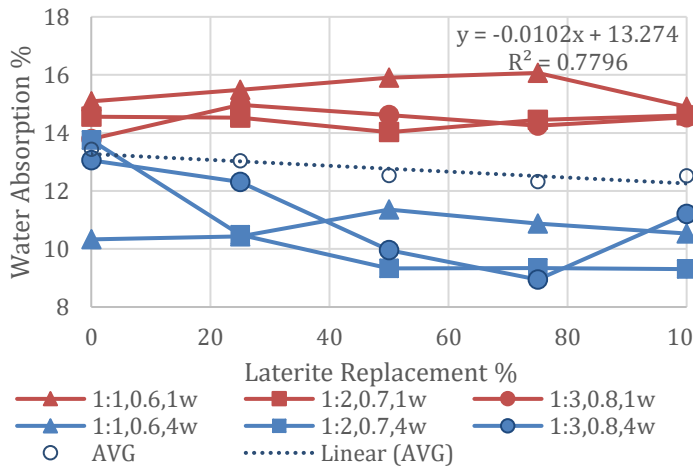


Fig 3: Water Absorption vs Replacement %

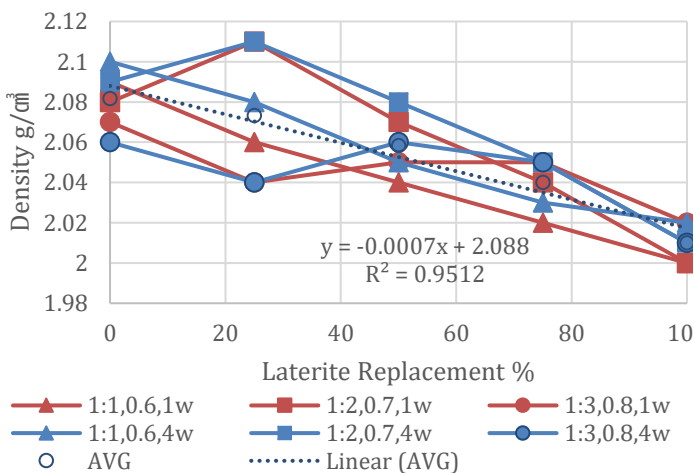


Fig 4: Density vs Replacement %

3.2 Compressive Strength (Plain Mixes)

Fig. 5 presents the 7 and 28-day compressive strength for plain mortar mixes. The results revealed a notable positive trend, particularly in the rich mix (W/C 0.6). Contrary to the expectation that porous aggregates reduce strength, the compressive strength showed a slight increase as the Laterite replacement ratio increased.

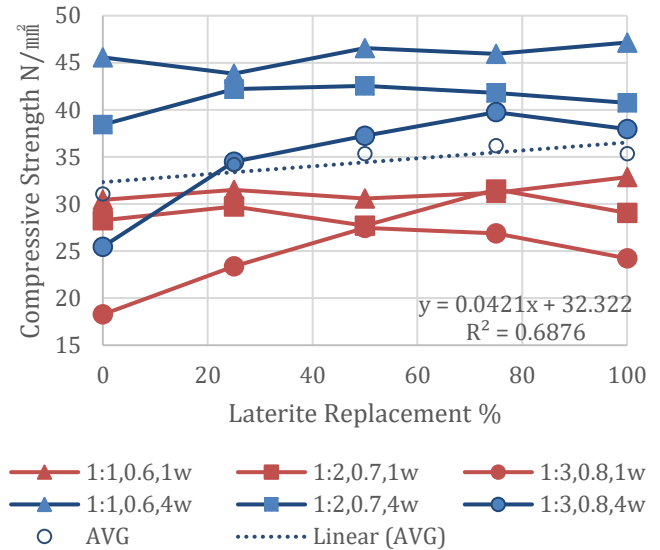


Fig 5: Compressive Strength vs Replacement %

3.3 Bending & Tensile Strength (Plain)

Fig. 6 and Fig. 7 illustrate the Bending and Splitting Tensile strengths. Both properties exhibited a slight increase as the Laterite replacement ratio increased. This improvement is attributed to the "Mechanical Interlocking"[2] effect. Unlike river sand, which has a smooth and rounded surface, the crushed Laterite particles possess a rough and angular surface texture. This roughness provides a superior physical bond ("grip") between the aggregate and the cement paste. Consequently, the mortar developed higher resistance to tensile and flexural stresses, proving that the bond strength of Laterite is superior to that of smooth river sand.

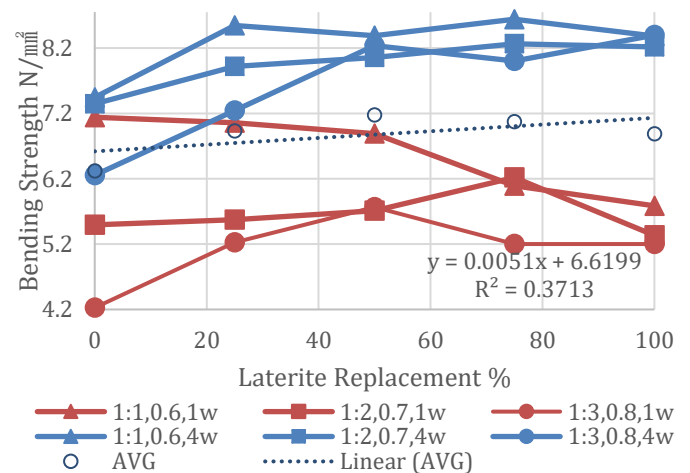


Fig 6: Bending Strength vs Replacement %

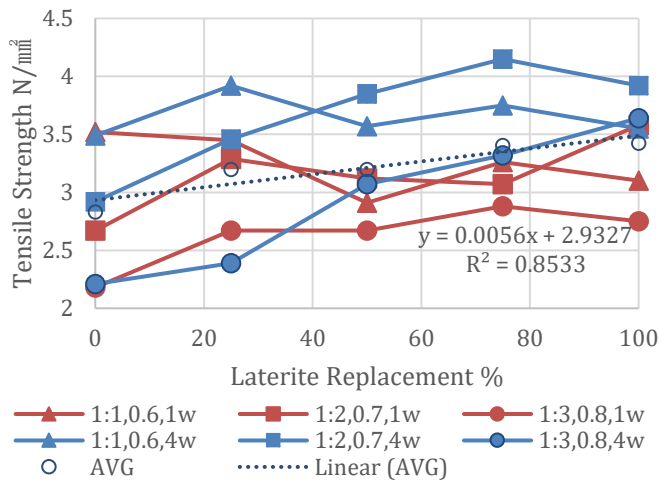


Fig 7: Tensile Strength vs Replacement %

3.4 Effect of Admixtures (100% Laterite)

To improve the 100% Laterite mix even more, 15% Fly Ash (FA) and Blast Furnace Slag (BF) were added. Fig. 8 shows Compressive Strength. The BF Slag mix significantly outperformed Plain and FA mixes, reaching ~54 N/mm². This is due to Slag's latent hydraulic reaction utilizing the internal water. Fig. 9 shows Bending Strength. The Fly Ash FA outperformed Plain and BF mixes abt on the 0.6 W/C.

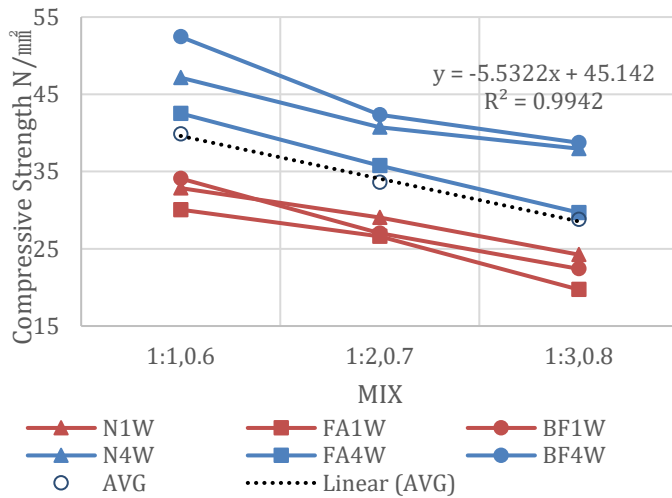


Fig 8: Compressive: 100% Lat vs Mix

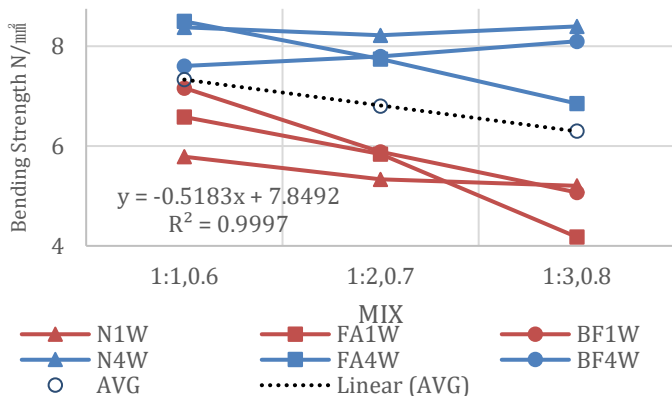


Fig 9: Bending: 100% Lat vs Mix

3.5 Tensile & Physical Properties (Admixtures)

Fig. 10 shows Splitting Tensile Strength. BF Slag improved the tensile bond significantly. Fig. 11 and 12 show that BF Slag increased the density and also increased the water absorption of the mortar and also show that the more laterite/cement it is the more density it increase and the less it absorb water.

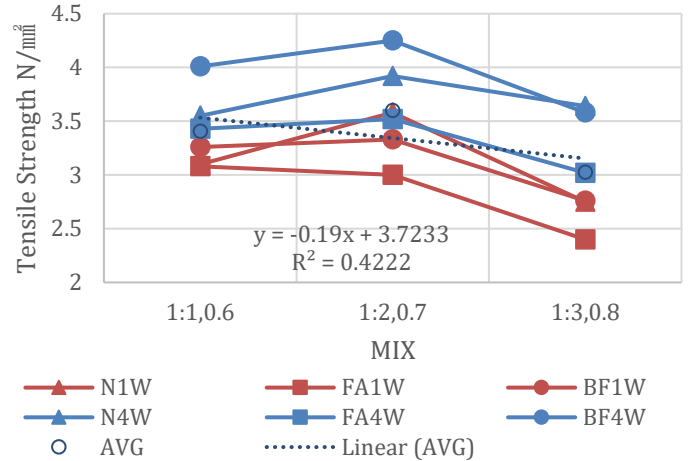


Fig 10: Splitting: 100% Lat vs Mix

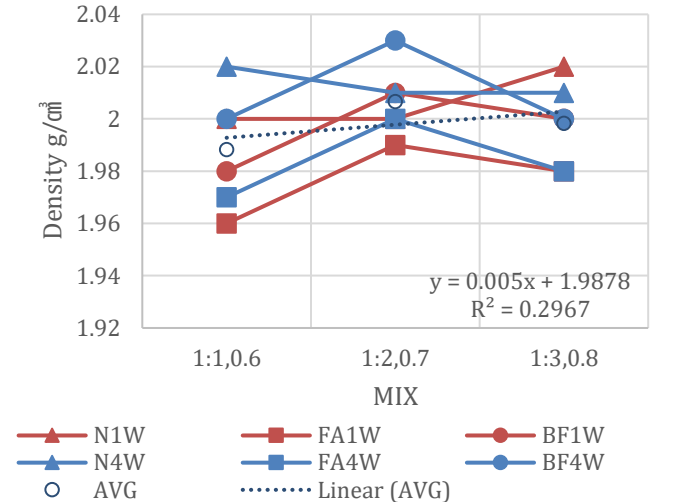


Fig 11: Density: 100% Lat vs Mix

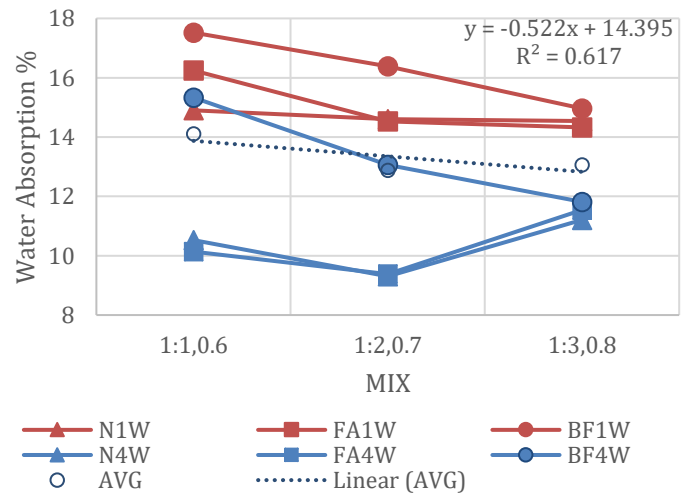


Fig 12: Absorption: 100% Lat vs Mix

4. Discussion

4.1 Density & Absorption Correlations

To verify the factors influencing strength, the relationship between Hardened Density and Compressive Strength was analyzed (Fig. 13). Contrary to the general rule that "denser concrete is stronger," this study observed only a small significant linear correlation ($R^2 \approx 0.0041$). As shown in the graph. This indicates that the Compressive Strength is slightly governed by the density of the material.

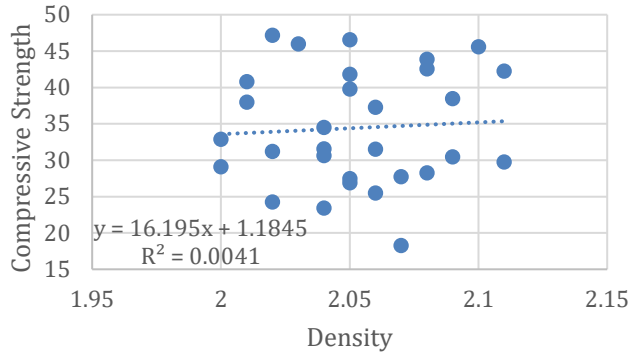


Fig 13: Density vs Compressive Strength

Fig. 14 illustrates the relationship between Water Absorption and Compressive Strength. A clear negative correlation ($R^2 = 0.5989$) was observed. As water absorption increased (indicating higher porosity), the compressive strength decreased. This confirms that the inherent porosity of the Laterite aggregate is a limiting factor for strength.

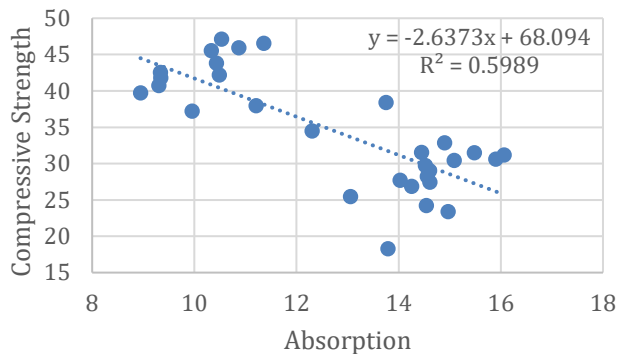


Fig 14: Absorption vs Compressive Strength

4.2 Strength Inter-relationships

Fig. 15 and Fig. 16 show positive linear correlations between compressive strength and bending/tensile strengths. Notably, the bending strength showed a strong correlation ($R^2 = 0.83$), while the tensile strength correlation was moderate ($R^2 = 0.55$). The tensile strength maintained a standard ratio of approximately 1/10 of the compressive strength. This indicates that the porous Laterite did not induce brittleness; rather, the aggregate's rough surface texture likely enhanced the mechanical bond (interlocking) with the cement paste.

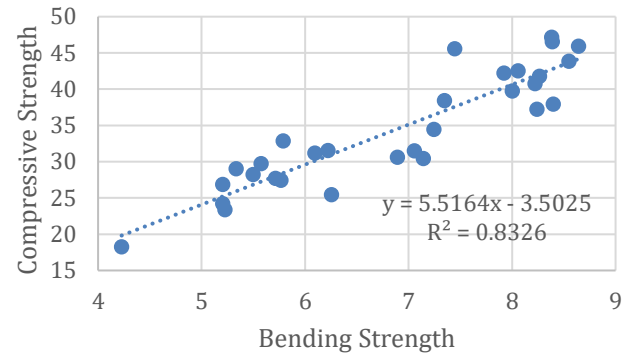


Fig 15: Compressive vs Bending Strength

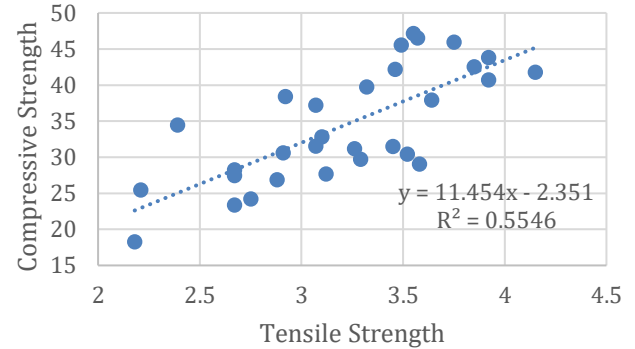


Fig 16: Compressive vs Tensile Strength

5. Conclusion

This study confirms that Laterite Sand is a viable alternative to river sand for construction in Cambodia. The key findings are:

Feasibility: Laterite can replace river sand 100% in rich mixes (W/C 0.6) without strength loss ($\sim 32 \text{ N/mm}^2$). This is attributed to "Internal Curing" and the "Filler Effect" of fine particles, which unexpectedly reduced water absorption.

Mechanical Performance: Laterite mortar maintained high Tensile and Bending strengths. The rough, angular surface of Laterite provided superior "Mechanical Interlocking" with the cement paste compared to smooth river sand.

Admixture Synergy: Blast Furnace Slag (15%) was the most effective admixture. It synergized with the internal water to densify the matrix, boosting compressive strength to $\sim 54 \text{ N/mm}^2$, whereas Fly Ash showed limited early gain.

Governing Factor: Analysis proved that strength is governed by Porosity (Water Absorption), not Density. Therefore, using Slag to fill pores is the optimal strategy for high-strength Laterite mortar.

Acknowledgments & References

I thank Prof. Mita, Prof. Song, and Mr. Hiroshi Wato for their guidance.

[1] UNEP (United Nations Environment Program)

2022. <https://www.unep.org/resources/report/sand-and-sustainability-10-strategic-recommendations-avert-crisis>

[2] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884601006688>