

二輪車用連動ブレーキシステム (Dual-CBS) に関する研究

Research on Dual Combined Brake System (Dual-CBS) for Motorcycle

西 本 幸 正* 岩 下 調*

Yukimasa Nishimoto Kanau Iwashita

槌 田 鉄 男* 沢 野 功 明*

Tetsuo Tsuchida Yoshiaki Sawano

要 旨

一般の二輪車のブレーキシステムは、前後のブレーキをそれぞれ手と足で独立して操作する構造になっている。車体の挙動を安定させてブレーキ性能を最大限に引き出すには、手と足の入力をバランスよくコントロールする必要がある。

そこで、手、足の操作系共、前後輪を同時に制動できる Dual Combined Brake System (Dual-CBS) で、従来のブレーキシステムに親しんだライダーも扱いやすい制動力配分特性の検討を行った。

手操作系の CBS では後輪より先に前輪ロックが、足操作系の CBS では逆に前輪より先に後輪ロックが生じるようにすると、従来のブレーキシステムの操作に馴れたライダーが操作しやすい Dual-CBS になる。同時に手単独操作時のピッチレート、足単独操作時のヨーレートも減少し、従来のブレーキシステムよりも制動時の車体挙動が安定した。

手、足単独操作で比較した場合、従来のブレーキシステムより CBS を使用した方が発生減速度が高く、またライダーの技量差によるばらつきも小さくなることが判明した。

ABSTRACT

The front and rear brakes of motorcycle are operated independently by hand and foot, respectively. To obtain maximum deceleration while keeping a motorcycle stability, the coordination of hand and foot inputs is required. A dual combined brake system (Dual-CBS) was developed in which either hand or foot input activate the front and rear simultaneously. The distribution of braking force between the front and rear was studied to offer easier operation to riders accustomed to a conventional brake system. Dual-CBS for motorcycle gave the best results if the hand brake system made the front wheel lock before the rear, and the foot brake system locks the rear wheel before the front. It helps to reduce pitch rate caused by the hand brake and yaw rate caused by the foot brake, and contributes to a motorcycle stability while brakes are applied. Furthermore, the deceleration of CBS was higher and the dispersion due to difference in the rider's skill was smaller than that of conventional brake system.

1. ま え が き

従来の二輪車のブレーキシステムは、一般に手で前輪ブレーキを操作し、足で後輪ブレーキを操作する構造になっている。そして、Fig. 1 の例に示すように、減速度の増加に伴い前後輪の分布荷重は全く異なってくる。

前輪ブレーキは、減速度の増加に伴い前輪分布荷重が

増加するため、高い減速度を得ることができるが、二輪車では前輪のロック状態で車体挙動が不安定になるため、後輪ブレーキより繊細な操作が要求される。逆に、後輪ブレーキは減速度の増加に伴い後輪分布荷重が減少するため、高減速度を得ることができないが、車輪がロックしても前輪に比べて車体挙動は比較的安定している。

* 朝霞研究所

ライダーは、これら特性の異なる2種類のブレーキを操作して、自分の走り方に合った前後輪の制動力配分を得ている。Fig. 2は、代表的な制御時における熟練ライダーのレバー、ペダルへの操作入力と車速の関係を示す。一方、二輪車の持っている制動力を最大限に引き出すには、減速度に合わせて前後輪の制動力を配分する必要がある。

このような背景から、前後輪の制動力を適切に配分し、ひとつのブレーキ操作で前後輪両方を同時に制動させるという考え方は従来からあり、ホンダでは大型ツーリングモデルのGL1500に既にCBSは搭載されている (Fig. 3)。このCBSの足操作系は前後輪両方を制動する構造で、前輪より後輪が先にロックする前後制動力配分になっており、手操作系は前輪だけ制動する構造である。

このタイプのCBSは、手ブレーキ操作の負担を減らす目的で、10年以上前に耐久ロードレーサーRCB1000に使用されたことはあるものの、スポーツ系モデルでは、前輪ブレーキの使用頻度が高く、足操作だけのCBSの利点

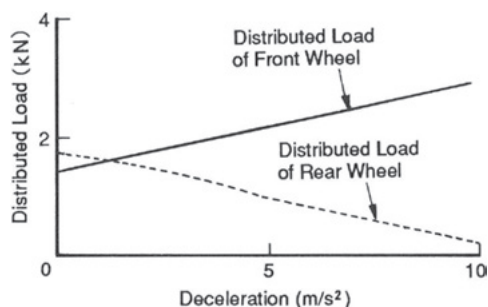


Fig. 1 Deceleration vs. Distributed Load of Front and Rear Wheel

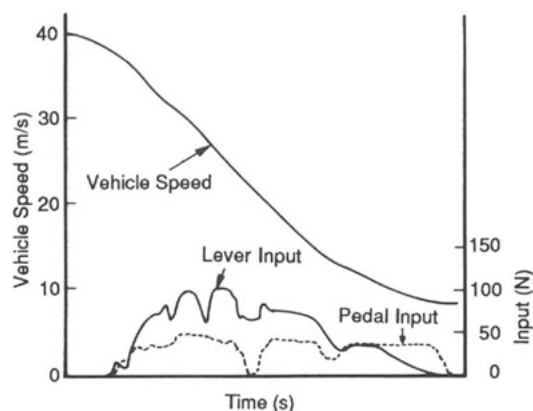


Fig. 2 Lever and Pedal Input of Expert Rider and Vehicle Speed

は少ない。

そこで、手、足の両操作系共、前後輪を同時に制動できる Dual Combined Brake System (Dual-CBS) の研究に着手した。

2. Dual-CBS の構造およびテスト車両

2.1. Dual-CBS の構造

Fig. 4 にテストに使用した Dual-CBS (システム-1) の構造を示す。

(1) 作動原理

手入力により前マスタシリンダで発生した液圧は、直接左右の前キャリパ両端のピストンに伝達され、前輪に制動力が発生する。その制動力がリンクを介して2次マスタシリンダに作用し、液圧を発生させ、その液圧はPCV (Proportional Control Valve) で制御されて後キャリパに伝達され、後輪にも制動力が発生する。足操作系も手操作系と同様の作動原理であり、後マスタシリンダで発生した液圧は、手操作系と別系統の左右の前キャリパ中央のピストンに伝達される。足と手の操作系は独立した二系統となっている。

(2) PCV 作動

Dual-CBS に使用した PCV は、四輪車に一般的に使われている PCV、カットバルブおよび減圧ピストンの3つの機能部品から構成されているが、ホイールベースが

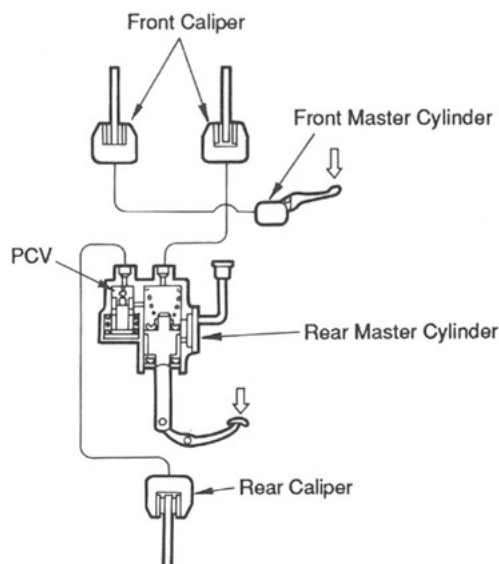


Fig. 3 Schematic Diagram of Conventional CBS

短く重心が高い二輪車特有のディメンジョンからくる理想制動力配分特性に合わせてある (Fig. 5)。テスト品は色々な特性を出すために、作動圧、作動特性が調整可能となっている。

2.2. テスト車両

以下のテストには、排気量 1000cm^3 のオンロードスポーツモデルを使用した。テスト車の前後輪分布荷重と主なディメンジョンを Fig. 6 に示す。

3. 理想制動力配分特性の算出および計測

Dual-CBS の制動力配分を求めるに際し、まずテスト車

の理想制動力配分特性の理論値を算出した。次に、テスト車の各減速度毎の分布荷重を計測し、理想制動力配分特性を検証した (Fig. 7)。

計算と計測で求めた特性は、近似していることが判る。計算値と計測値との僅かな違いの要因としては、サスペンションの動きやライダの姿勢変化による重心位置と前後輪分布荷重の変化が考えられる。

4. 制動力配分特性の違いによる制動テスト

得られた理想制動力配分特性 (以後、計算値を指す) に対する実用に則した最適な制動力配分特性の検討結果を以下に述べる。各種走行テストでは、マスタシリンダ入

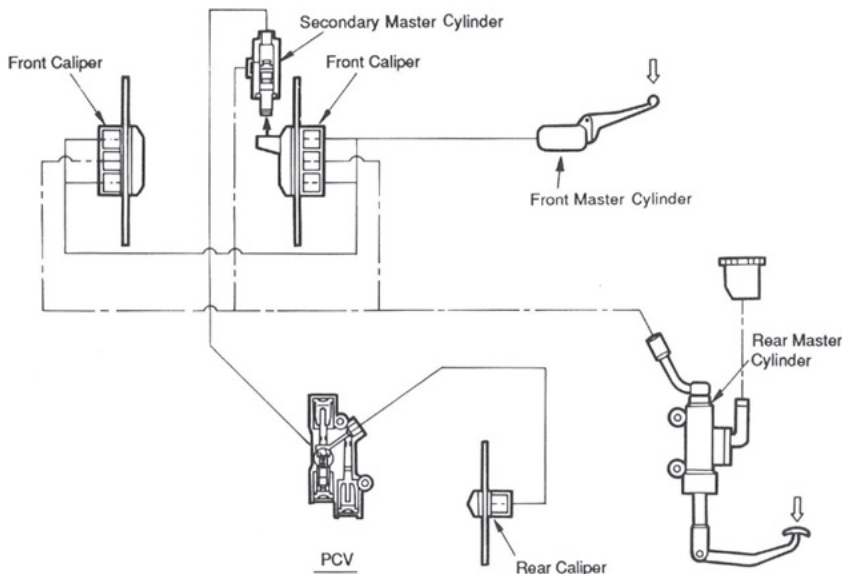


Fig. 4 Schematic Diagram of Dual-CBS (System-1)

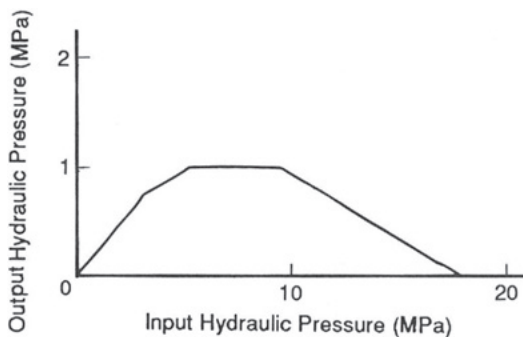


Fig. 5 Characteristic of PCV

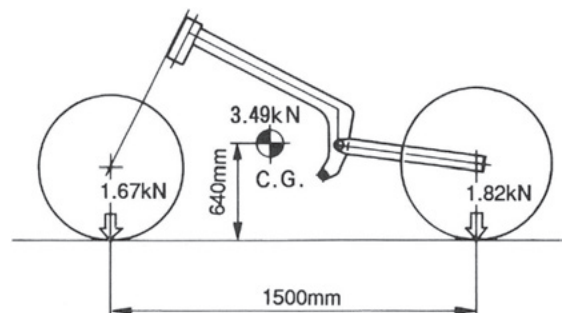


Fig. 6 Distributed Load and Dimension of Test Vehicle

力と車輪速度を計測し、減速度を算出した。

4.1. 従来のブレーキシステムによる直進制動テスト

アスファルトドライ路面で従来のブレーキシステムを用いた熟練ライダーによる手、足および手足併用操作のエンジンブレーキを併用しない状態 (Clutch Out) の直進制動テスト時の最大減速度を Fig. 8 に示し、その時の前後マスタシリンダの入力変化を Fig. 9 に示す。路面に合わせて理想制動力配分に近い入力を瞬時に与えているため、高い減速度を出しているのが判る。

4.2. Dual-CBS による制動テスト (テスト-1)

PCV 特性を調整して手、足両方の操作系共に制動力配分特性を、Fig. 10 に示すように理想制動力配分特性に比較して後輪の制動力配分を大きくし、常に後輪が前輪より先にロックするようにした CBS を特性-1 と呼ぶ。この Dual-CBS と従来のブレーキシステムを使用して、車輪がロックするまでに得られる最大減速度を路面

$\mu = 1.0$ と 0.5 で計算した結果を、Fig. 11 に示す。手足併用操作ブレーキの場合、従来のブレーキシステムの方が Dual-CBS より高い減速度が得られるが、手、足単独操作では Dual-CBS の方が、いずれの路面でも高い減速度が得られる。

アスファルトドライ路面で特性-1 の Dual-CBS を使った直進制動テストから得られた減速度を、熟練ライダーによる従来のブレーキシステム使用時との比較で、Fig. 12 に示す。

計算値の場合と同様、Clutch out の直進制動テストでは、Dual-CBS は従来のブレーキシステムよりも手、足単独操作時に高い減速度が得られた。

ワインディング路では、一般にブレーキ操作とエンジンブレーキを併用する場合が多い。Dual-CBS は、この状況下で手単独操作時に後輪にホッピングが発生し、従来のブレーキシステムに慣れたライダーはコントロールしづらいことが判明した。

手単独操作ブレーキとエンジンブレーキ併用状態

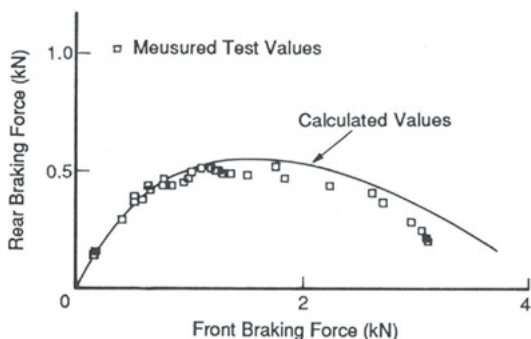


Fig. 7 Measured and Calculated Values of the Ideal Braking Force Distribution Characteristic

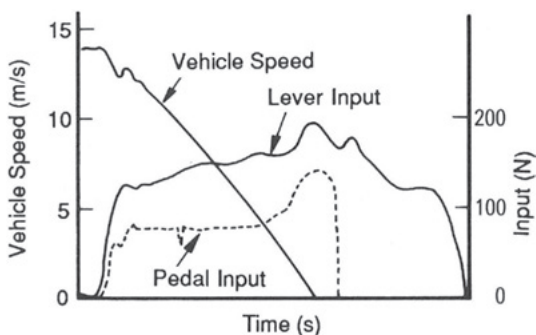


Fig. 9 Input Variations for Hand & Foot Operation Using Conventional Brakes

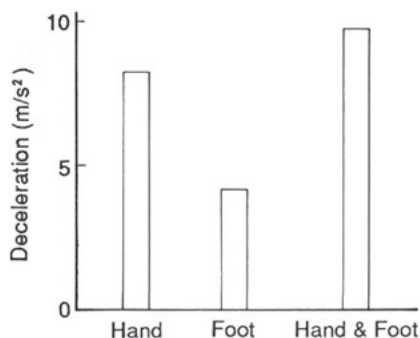


Fig. 8 Measured Values of Maximum Decelerations on a Dry Asphalt Road Surface Using Conventional Brakes

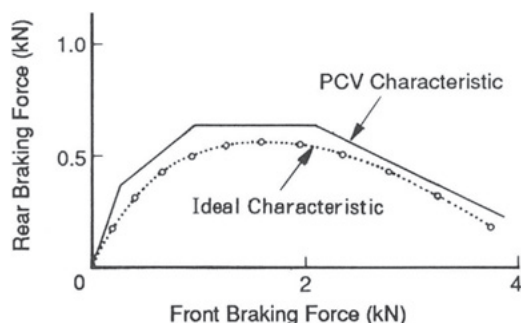


Fig. 10 Braking Force Distribution (Characteristic-1)

(Clutch In)の直進制動テストでは、特性-1のDual-CBSは後輪にホッピングが発生し、従来のブレーキシシステムの手単独操作に比較して発生最大減速度が低いことが判明した (Fig. 12)。

通常のブレーキとエンジンブレーキの併用時に後輪に発生するホッピングを測定し、その範囲を制動力配分特性のグラフ上に示すと Fig. 13 のようになり、高減速度域ではより少ない後輪制動力でホッピングが発生することが判明した。

4.3. Dual-CBS による制動テスト (テスト-2)

Fig. 13 のホッピング発生ゾーンを避け、Fig. 14 に示すように前輪が後輪より先にロックする領域で制動力配分特性を設定したCBSを特性-2と呼ぶ。このDual-CBSを使用して得られる減速度を路面 $\mu = 1.0$ と 0.5 で

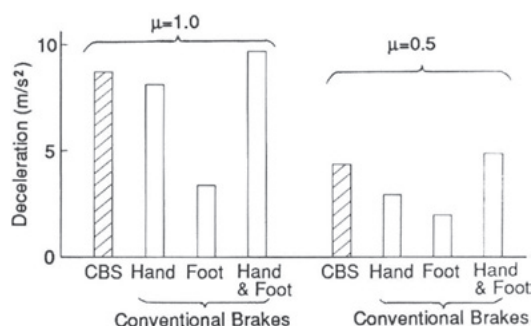


Fig. 11 Comparison of Calculated Values for Maximum Decelerations Obtained Using Dual-CBS (Characteristic-1) and Conventional Brakes

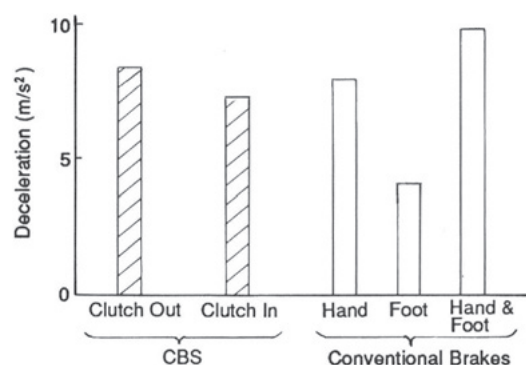


Fig. 12 Comparison of Maximum Decelerations Obtained Using Dual-CBS (Characteristic-1) and Conventional Brakes on a Dry Asphalt Road Surface

計算し、結果を Fig. 15 に示す。特性-1のDual-CBSと同様に手、足単独操作では従来のブレーキシシステムより高い減速度が達成できる。アスファルトドライ路面でエンジンブレーキを併用した時と併用しない時の直進制動テスト結果では、エンジンブレーキに係わらず、最大減速度はほぼ同じになった (Fig. 16)。前輪が後輪より先にロックするこの特性のDual-CBSを使用して一般路の走行テストを行った結果、足操作系はコントロールしづらいことが判った。そこで、手操作系は前輪からロックし、足操作系は後輪からロックするように、別々の前後制動力配分特性でなければならないことが判明した。

4.4. Dual-CBS による制動テスト (テスト-3)

テスト-1、2で使用したシステム-1を改造し、後ブレーキシシステムに前と同じ3ピストンタイプのキャリ

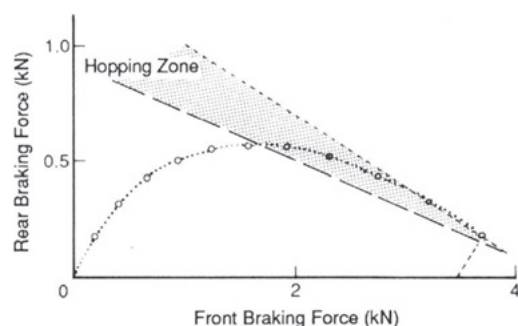


Fig. 13 Hopping Generate Zone Superimposed on the Calculated Values of the Ideal Braking Force Distribution Characteristic

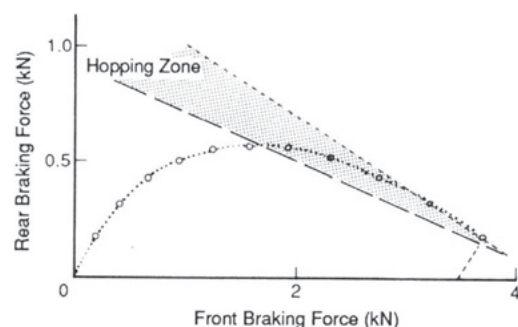


Fig. 14 Braking Force Distribution (Characteristic-2)

パを使用し、後マスタシリンダから後キャリパ中央ピストンに直接配管したシステム-2の構造を Fig. 17 に示す。この構造の制動力配分特性を特性-3と呼び、Fig. 18 に示す。手操作系は特性-2の制動力配分特性であり、後輪より先に前輪がロックする。また足操作系の制動力配分特性は、後輪が先にロックするようにした。手足併用操作時のブレーキの制動力配分特性は、手、足単独操作時の特性線に囲まれる範囲に存在する。

この特性の Dual-CBS と従来のブレーキシステムを使用して、車輪がロックするまでに得られる最大減速度を

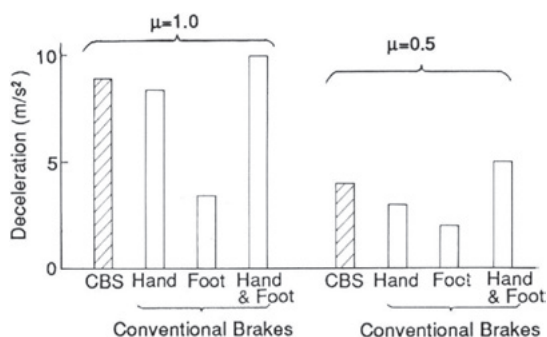


Fig. 15 Comparison of Calculated Values for Maximum Deceleration Obtained Using Dual-CBS (Characteristic-2) and Conventional Brakes

路面 $\mu = 1.0$ と 0.5 で計算した結果を、Fig. 19 に示す。いずれの路面でも手、足単独操作で従来のブレーキシステムより高い減速度が発生し、手足併用操作ブレーキでは同等の減速度を出せることが判る。アスファルトドライ路面で、特性-3の Dual-CBS を使った直進制動結果と熟練ライダーによる従来のブレーキシステムの減速度の比較を Fig. 20 に示す。計算値の場合と同様に、手、足単独操作では従来のブレーキシステムを使用した結果を上回り、手足併用操作ブレーキでは、ほぼ同等の制動力を発生させていることが判る。

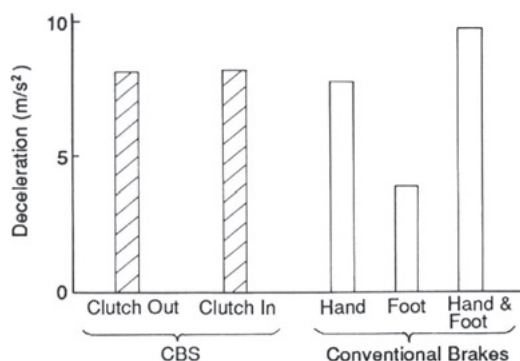


Fig. 16 Comparison of Maximum Decelerations Obtained Using Dual-CBS (Characteristic-2) and Conventional Brakes on a Dry Asphalt Road Surface

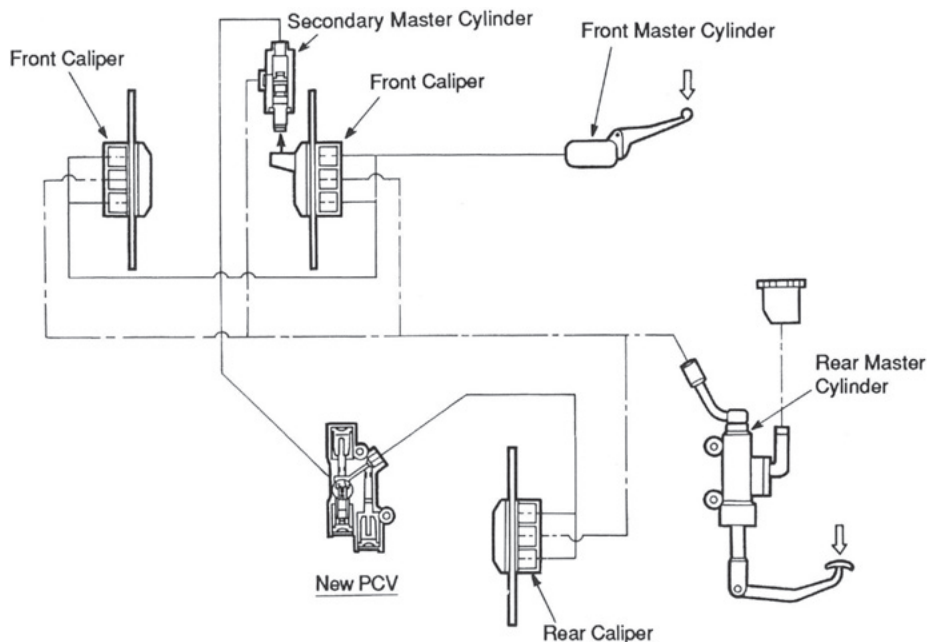


Fig. 17 Altered Structure (System-2)

特性-3のDual-CBSを使用して、熟練ライダーが一般路を走行した時のマスタシリンダの操作入力を Fig. 21 に示す。Fig. 2 に示した従来のブレーキシステムの時と

ほぼ同様に操作していることから、従来のブレーキシシステムと比較して大きな違和感はないと思われる。

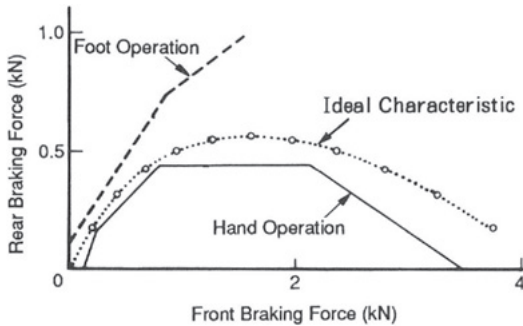


Fig. 18 Braking Force Distribution (Characteristic-3)

5. 特性-3のDual-CBS使用時の有効性テスト

5.1. 技量の異なるライダーによる制動テスト

特性-3のDual-CBSを使用して、初心者から熟練ライダーまでが、手、足単独および手足併用操作で得られる減速度を、従来のブレーキシシステムと比較した。Fig. 22 に各ライダーが発生した減速度の平均値を示し、Fig. 23 に技量の異なるライダーが発生する減速度を示す。

全体としてDual-CBSの方が従来のブレーキシシステム

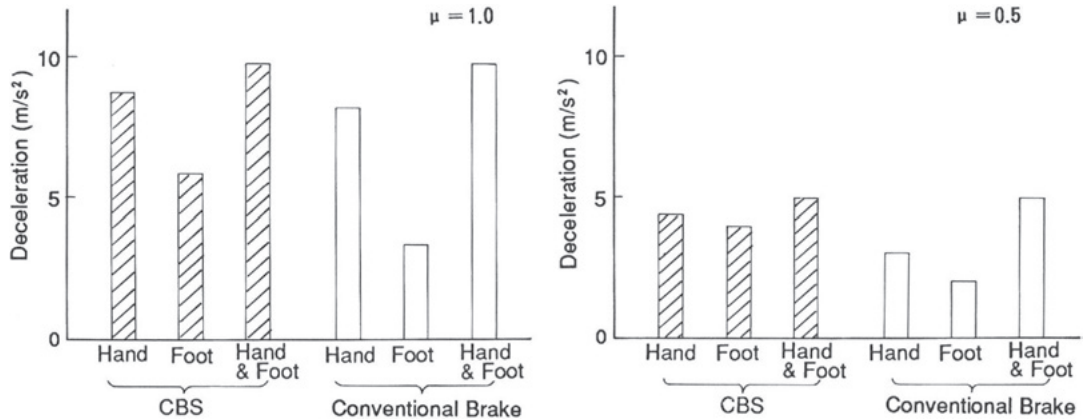


Fig. 19 Comparison of Calculated Values for Maximum Deceleration Obtained Using Dual-CBS (Characteristic-3) and Conventional Brakes

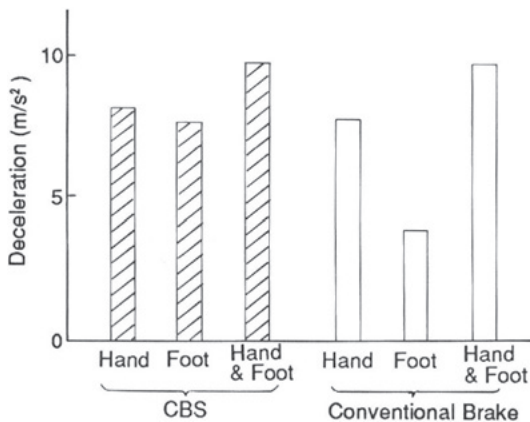


Fig. 20 Comparison of Maximum Decelerations Obtained Using Dual-CBS (Characteristic-3) and Conventional Brakes on a Dry Asphalt Road Surface

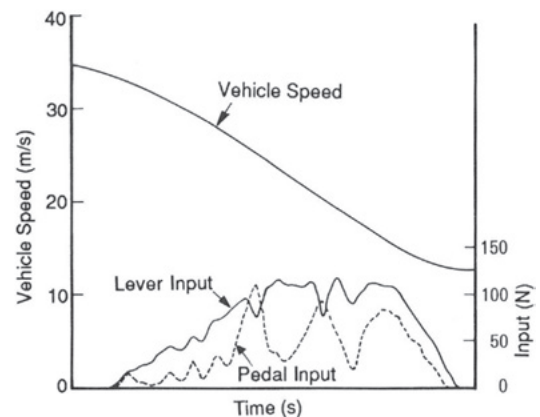


Fig. 21 Input Variations for Hand & Foot Operation of Expert Rider Using Dual-CBS (Characteristic-3)

より発生減速度は高く、更に足単独操作の場合を除いて、そのばらつき幅も減少している。Dual-CBS の足単独操作の発生減速度のばらつき幅が大きい原因として、次のことが考えられる。従来のブレーキシステムの足単独操作の場合は、後輪ロック状態でも比較的車体挙動が安定しているため、初心者でも安心してブレーキが掛けられ、ほとんどのライダーが後輪ロック状態で停止している。一方、ライダーは Dual-CBS の足単独操作での高い減速度に不慣れであり、後輪ロックまでの限界を把握できなかったためと思われる。Dual-CBS の足単独操作の場合、高減速度を得るためには慣れが必要であるが、ブレーキ回数を追うごとに減速度が向上していることから、比較的早く高減速度が出せるようになると思われる。

また、技量別に見た場合、各ライダー共、Dual-CBS の方が従来のブレーキシステムよりも高い減速度を発生し、特に足単独操作時にその差は大きい。手足併用操作時には、初心者程 Dual-CBS の使用時の効果は大きいと言える。

5.2. 車体挙動計測

直進制動時の車体のピッチレートとヨーレートを、Dual-CBS と従来のブレーキシステムで比較した。Fig. 24 に手、足単独操作時のピッチレートと減速度の関係をそれぞれ示し、Fig. 25 に手、足単独操作時のヨーレートと減速度の関係を示す。

手単独操作では、Dual-CBS の方が従来のブレーキシステムよりピッチレート、ヨーレート共小さく、車体はより安定している。

足単独操作では、Dual-CBS の方がピッチレートは大きいですが、ヨーレートは手単独操作と同様、Dual-CBS の方が小さく、特に後輪ロック後のヨーレートに大きな差が出ている。これは、後輪ロック後も車体が比較的安定し

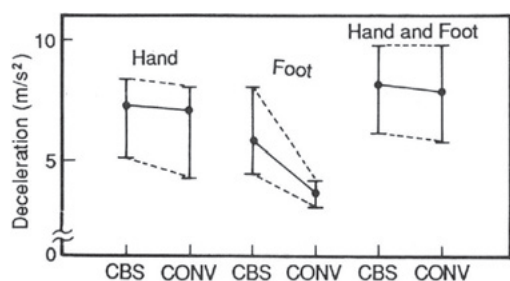
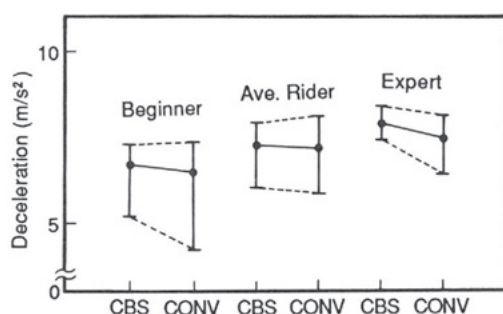


Fig. 22 Comparison of Average Decelerations

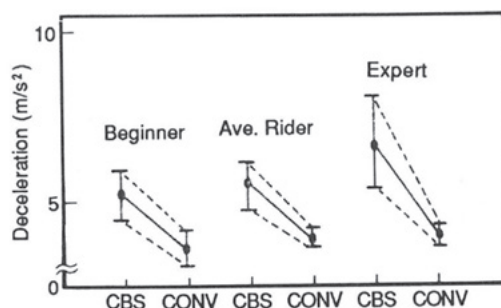
ていることを意味する。Fig. 19 の足単独操作ブレーキの CBS 計算値より Fig. 20 の CBS 計測値の方が大きいのは、ライダーが安心して後輪ロック入力を越えて、入力していることで説明できる。

6. 結 論

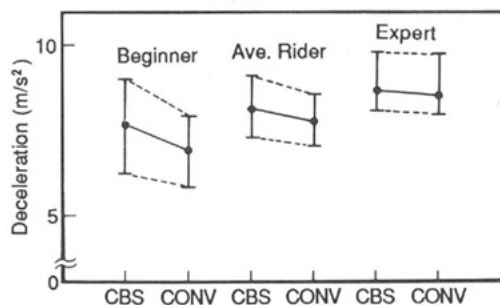
- (1) 手、足両方の操作系を共に CBS とした Dual-CBS は、下記の制動力配分特性にすることで、従来のブレーキシステムに慣れ親しんだ初心者から熟練ライダーまで、



(a) Hand Operated Braking

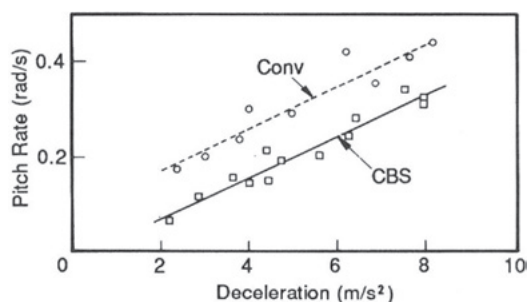


(b) Foot Operated Braking

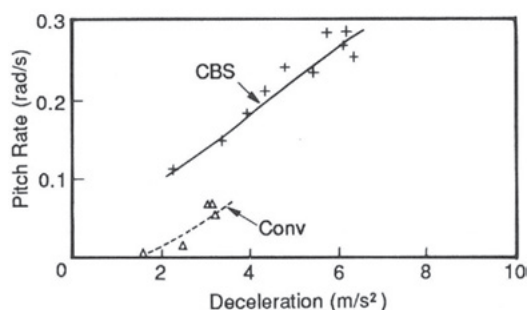


(c) Combined Hand and Foot Operation

Fig. 23 Comparison of Decelerations Produced by Riders of Varying Skill

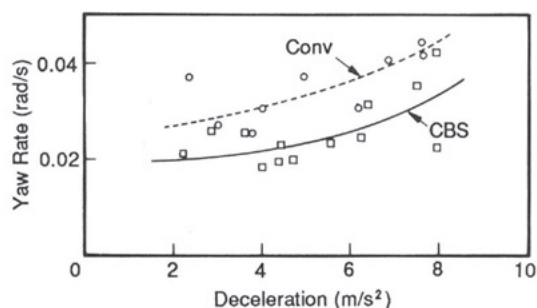


(a) Hand Operated Braking

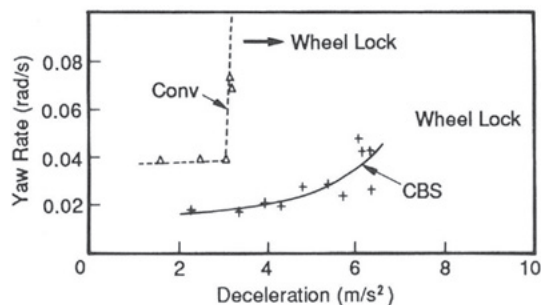


(b) Foot Operated Braking

Fig. 24 Comparison of Pitch Rate between CBS and Conventional Brakes



(a) Hand Operated Braking



(b) Foot Operated Braking

Fig. 25 Comparison of Yaw Rate between CBS and Conventional Brakes

扱い易いブレーキシステムとすることができる。

- (a) 手操作系はホッピングの発生しない所まで後輪の制動力を下げ、従来のブレーキシステムと同様に、前輪が後輪より先にロックする制動力配分特性とする。
- (b) 足操作系は後輪が前輪より先にロックする制動力配分特性とする。
- (2) 熟練者から初心者まで技量の異なるライダーで、直進制動時の発生減速度を、Dual-CBS と従来のブレーキシステムで比較した場合、手、足単独操作および手足併用操作共、最大発生減速度の平均値は Dual-CBS の方が高い。特に、足単独操作では最大減速度が大きく向上し、初心者でも従来のブレーキシシステムを使用した熟練者が出せる減速度を上回った。また、最大発生減速度のばらつき幅も減少傾向であった。
- (3) 制動時の車体挙動変化を Dual-CBS と従来のブレーキシシステムで比較した場合、Dual-CBS は手単独操作ブレーキではピッチレート、ヨーレート共に変化が少なく、足単独操作ブレーキではピッチレートは大きくはなっているもののヨーレートは小さく、制動時の車体は安定している。

なお、本研究の成果は、1993 年 1 月に発売となった CBR1000F のブレーキシシステムに適用されている。

■ 著 者 ■



西本 幸正



岩下 調



樋田 鉄男



沢野 功明