













Fig.10  $\Delta\omega$  と破砕量  $Br$  の比較

また, Fig.10(a)の C-D-588 (白・ $Dr=80\%$ ) と C-L-588 (灰・ $Dr=30\%$ ) は拘束応力  $p=588\text{kPa}$  まで等方圧密した結果であるが, 従来モデルでは, これらに密度の違いによる差はみられない。同図(a)の S-D-588-30 (青・ $Dr=80\%$ ) と S-L-588-30 (赤・ $Dr=30\%$ ) より, 従来モデルでは相対密度の高い S-D-588-30 (青・ $Dr=80\%$ ) の方が  $\Delta\omega$  は大きい。これらは, 従来モデルでは  $\omega$  の変化量が応力の最大値に依存するためである。一方で, 同図(b)の改良したモデルは, C-D-588 (白・ $Dr=80\%$ ) と C-L-588 (灰・ $Dr=30\%$ ) または S-D-588-30 (青・ $Dr=80\%$ ) と S-L-588-30 (赤・ $Dr=30\%$ ) より, 相対密度の低い方の  $\Delta\omega$  が大きく, 同図(c)の試験結果の傾向と一致している。

次に側圧 (応力) の違いに着目する。S-L-588-30 (赤・ $\sigma_r=588\text{kPa}$ ) と S-L-58.8-30 (緑・ $\sigma_r=58.8\text{kPa}$ ) を比較する。これらは同じ相対密度 ( $Dr=30\%$ ) でせん断した結果である。Fig.8(a)の S-L-588-30 (赤・ $\sigma_r=588\text{kPa}$ ) と S-L-58.8-30 (緑・ $\sigma_r=58.8\text{kPa}$ ) より, 従来モデルでは S-L-588-30 (赤・ $\sigma_r=588\text{kPa}$ ) に比べ S-L-58.8-30 (緑・ $\sigma_r=58.8\text{kPa}$ ) は実線と破線に差がなく, 粒子破砕の影響が小さいことが分かる。これは, 同図(b)より, S-L-58.8-30 (緑・ $\sigma_r=58.8\text{kPa}$ ) の  $\omega$  の減少量が小さいためである。Fig.9(a), (b)より, 改良したモデルにおいても同様の傾向がみられる。また, Fig.10(a), (b)の S-L-588-30 (赤・ $\sigma_r=588\text{kPa}$ ) と S-L-58.8-30 (緑・ $\sigma_r=58.8\text{kPa}$ ) より,  $\Delta\omega$  は側圧の高い S-L-588-30 (赤・ $\sigma_r$

$=588\text{kPa}$ ) の方が大きく, 従来モデル, 改良したモデルともに同図(c)の試験結果の傾向と一致している。

最後に, 偏差ひずみの違いに着目する。Fig.10の S-L-588-30 (赤・ $\varepsilon_d=30\%$ ) と S-L-588-10 (黒・ $\varepsilon_d=10\%$ ) を比較する。これらは同じ相対密度 ( $Dr=30\%$ ), 同じ側圧 ( $\sigma_r=588\text{kPa}$ ) でせん断した結果である。Fig.10(a)の S-L-588-30 (赤・ $\varepsilon_d=30\%$ ) と S-L-588-10 (黒・ $\varepsilon_d=10\%$ ) より, 従来モデルでは偏差ひずみの違いによって  $\Delta\omega$  に差はみられない。これは, 従来モデルは  $\Delta\omega$  の変化を応力のみで規定しており, ひずみ量に依存しないためである。一方で同図(b)より, 改良したモデルは偏差ひずみの小さい S-L-588-10 (黒・ $\varepsilon_d=10\%$ ) よりも偏差ひずみの大きい S-L-588-30 (赤・ $\varepsilon_d=30\%$ ) の  $\Delta\omega$  が大きく, 同図(c)の試験結果の傾向と一致している。これは, 改良したモデルは  $\Delta\omega$  の変化が, 応力だけでなく, 塑性ひずみ増分に依存するためである。つまり, 残留応力状態であっても塑性ひずみの増加に伴い  $\Delta\omega$  が大きくなる。

以上から, 従来モデルでは, 応力の違いによる破砕量の増加傾向は表現できているが, 密度, ひずみ量の影響を表現できていないことが分かる。一方で, 改良したモデルは, 密度, 拘束応力, ひずみ量が粒子破砕量におよぼす影響について適切に表現できている。

## 5. まとめ

試験により, 粒子破砕量は, 密度, 応力, ひずみ量の影響を受けることが分かった。また, 試験結果より, 既存の状態変数  $\omega$  の発展則を応力, 塑性ひずみ増分がなす仕事で規定することにより試験結果の傾向を表現することができた。

## 参考文献

- 1) Teruo Nakai. et al.: S&F, Vol.51, No.6, 1129-1148, 2011.
- 2) 鈴木裕大, 菊本統, 中井照夫, H. M. Shahin, 京川裕之: 粒子破砕の影響を考慮した土の応力ひずみ関係の合理的なモデル化, 第45回地盤工学研究発表会, 講演集(CD-ROM), 2010.
- 3) 松田博, 中川雅夫, 篠崎晴彦: 建設・産業副産物の地盤工学的有効利用 9.鉄鋼スラグ, 土と基礎, pp.40-47,
- 4) (財)沿岸開発技術センター, 鉄鋼スラグ協会: 港湾工用水砕スラグ利用手引書, 1989.
- 5) Coop, M.R., Sorensen, K.K., Bodas Freitas, T. and Georgoutsos, G.: Particle breakage during shearing of carbonate sand, Géotechnique, 54(3), 157-163, 2004.
- 6) Bard, E.: Comportement des matériaux granulaires secs et un liant hydrocarbure, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, 1993.
- 7) Hardin: Crushing of soil particles, Journal of Geotechnical Engineering(1985) Vol.111 pp.1177~1192
- 8) Vesić, A.S. and Clough, G.W.: Behavior of granular materials under high stresses, J. of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. of the ASCE, SM3, 661-688, 1968.
- 9) Teruo Nakai. et al.: S&F, Vol.51, No.6, 1149-1168, 2011.