

Αστοχίες και Αίτια Αστοχιών στο Φράγμα Zipingpu (Επαρχία Sichuan, Κίνα) από τον σεισμό των 7.9R της 12^{ης} Μαΐου 2008

Ε.Α. Λέκκας

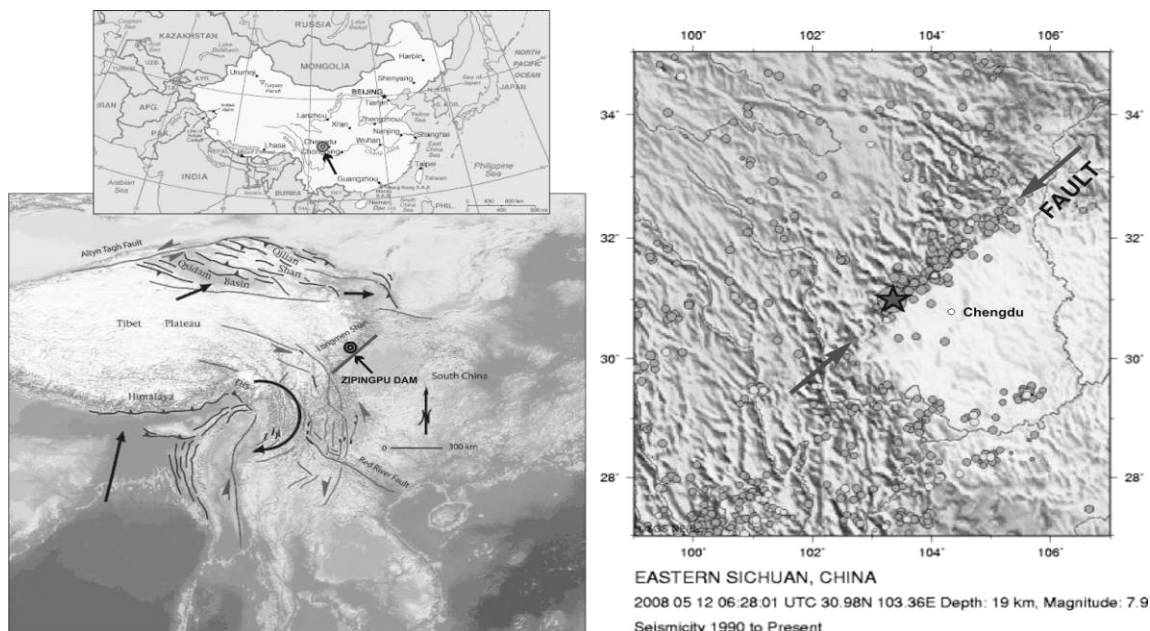
Καθηγητής, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας ΕΚΠΑ

Λέξεις κλειδιά: Κίνα, Sichuan, Φράγμα Zipingpu, σεισμός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ο σεισμός του Sichuan μεγέθους Mw 7.9R που εκδηλώθηκε την 12^η Μαΐου 2008 στην περιοχή Chengdu της Νότιας Κίνας είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση δεκάδων χιλιάδων θανάτων, ισοπέδωση πολλών πόλεων και τεράστιες ζημιές στα έργα υποδομής. Μία ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν οι αστοχίες στο φράγμα Zipingpu το οποίο υπέστη σημαντικές ζημιές στο σώμα, στα εκατέρωθεν πρανή, στην λεκάνη κατάκλυσης και στα συνοδά έργα, με αποτέλεσμα να κριθεί σκόπιμη η εκκένωση του ταμιευτήρα με το άνοιγμα του εκκενωτή πυθμένα ώστε να εξαλειφθεί κάθε κίνδυνος καταστροφής του. Παρουσιάζονται λεπτομερώς οι εκδηλωθείσες ζημιές, γίνεται προσέγγιση στις αιτίες εκδήλωσης των αστοχιών.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σεισμός του Sichuan μεγέθους Mw 7.9R που εκδηλώθηκε την 12^η Μαΐου 2008 στην περιοχή Chengdu της Νότιας Κίνας είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση δεκάδων χιλιάδων θανάτων, ισοπέδωση πολλών πόλεων και τεράστιες ζημιές στα έργα υποδομής. Προκλήθηκε από ένα ανάστροφο ρήγμα διεύθυνσης BA –ΝΔ, μήκους 100 και πλέον χιλιομέτρων που διαχωρίζει την σεισμόπληκτη περιοχή σε δύο μορφολογικά τμήματα, ένα ανατολικό με ομαλή επίπεδη μορφολογία και ένα δυτικό με εντονότατο ανάγλυφο που αποτελεί την απόληξη των οροσειρών του Θιβέτ (Εικ. 1).



Εικόνα 1: Το γεωδυναμικό καθεστώς, η θέση του επικέντρου (USGS) και η θέση του σεισμικού ρήγματος του σεισμού της 12^{ης} Μαΐου 2008.

Το ορεινό τμήμα χαρακτηρίζεται από πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο, που αποστραγγίζει τεράστιες εκτάσεις του υψιπέδου του Θιβέτ, κατά μήκος του οποίου εδώ και χιλιετίες έχουν γίνει πολυάριθμα υδραυλικά έργα και προσπάθειες διευθέτησης και αξιοποίησης του υδάτινου δυναμικού. Ουσιαστικά η οικονομία του ορεινού συγκροτήματος στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στο υδάτινο στοιχείο, ενώ πρόσφατα αναπτύσσεται και έντονο τουριστικό ρεύμα λόγω των ιδιαίτερων οικοσυστημάτων που υφίστανται.

Ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κατασκευασθεί 400 μικρά και μεγάλα φράγματα με κυρίαρχο το φράγμα Zipingpu ύψους 150μέτρων, όγκου $1,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ και υδροηλεκτρικό εργοστάσιο ισχύος $3,4 \cdot 10^9 \text{ Kwh}$. Το ανωτέρω φράγμα είναι το τελευταίο από τα 30 περίπου φράγματα από τα οποία τα 16 έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες, και το μεγαλύτερο πριν την έξοδο του ποταμού Min στο επίπεδο πεδινό τμήμα διαμέσου του φαράγγιού της πόλεως Dujiangyan, που βρίσκεται στα κατάντη (Εικ. 2).



Εικόνα 2: Άποψη του φράγματος Zipingpu και τμήματος της λεκάνης κατάκλυσης.

Λόγω της θέσης των πόλεων που ευρίσκονται στο επίπεδο τμήμα καθώς επίσης και των άλλων δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται κατάντη ενδεχόμενη αστοχία του φράγματος θα είχε ως αποτέλεσμα τεράστιες επιπτώσεις πέραν αυτής που είχε η σεισμική δόνηση. Ιδιαίτερα έχει υπολογιστεί ότι αν το φράγμα Zipingpu αστοχήσει, η πόλη Dujiangyan με 600.000 κατοίκους θα καταστραφεί ολοσχερώς. Το νερό θα φτάσει σε ύψος διώροφου κτιρίου μέσα σε 10 λεπτά και δεν θα υπάρχει χρόνος για να διασωθεί κανείς. Δύο ώρες αργότερα υπολογίστηκε, ότι το νερό θα φτάσει στην πρωτεύουσα του Chengdu με 6.000.000 κατοίκους.

2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ – ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

Ο σεισμός Mw 7.9 της 12^{ης} Μαΐου 2008 με επίκεντρο 30.986°N, 103.364°E και βάθος 19 km (USGS) προήλθε από ένα ανάστροφο ρήγμα γενικής διεύθυνσης BBA-NNΔ, μήκους περί τα 100 km. Το ανάστροφο ρήγμα ουσιαστικά αντιστοιχεί σε μία μετωπική επώθηση που φέρνει σε επαφή: (i) τα αλληλέπλληλα τεκτονικά καλύμματα και ενότητες της ορεινής περιοχής του Θιβέτ που προωθούνται προς τα ανατολικά και επωθούνται λόγω της ώθησης των Ιμαλαΐων προς τα ΒΑ και της κίνησης της πλάκας της Ινδίας και (ii) του επιπέδου σχετικά απαραμόρφωτου – άκαμπτου τεμάχους του Sichuan της νότιας Κίνας που ευρίσκεται προς τα δυτικά {1, 2, 3, 5, 7}.

Τούτο συμπεραίνεται από τη θέση, το βάθος και την κλίση του επιπέδου διάρρηξης σύμφωνα με τα υφιστάμενα στοιχεία. Επιπλέον συμπεραίνεται, ότι η επιφάνεια διάρρηξης αντιστοιχεί στην

εξωτερική – μετωπική επιφάνεια, η οποία πέραν του τεκτονικού διαχωρισμού των δύο μεγάλων γεωτεκτονικών ενοτήτων, αποτελεί και το διαχωριστικό όριο στην επιφάνεια του εδάφους μεταξύ της δυτικής έντονης μορφολογικά περιοχής και της ανατολικής επίπεδης πεδινής περιοχής.

Το ίχνος του σεισμικού ρήγματος δεν ανιχνεύθηκε στην επιφάνεια, παρά το σχετικά μικρό βάθος της σεισμικής εστίας πιθανώς επειδή η σεισμική διάρρηξη «απορροφήθηκε» στα ανώτερα τμήματα από τους επιφανειακούς χαλαρούς σχηματισμούς, όπως για παράδειγμα τους κώνους κορημάτων.

Το φράγμα Zipingpu και η λεκάνη κατάκλυσης και τα συνοδά έργα αναπτύσσονται στο υπερκείμενο του ρήγματος δυτικό τεκτονικό τέμαχος που κινήθηκε ανοδικά σε σχέση με το κατερχόμενο ανατολικό, γεγονός το οποίο έχει ως συνέπεια την υπερβολική σεισμική επιβάρυνση, όπως έχει αποδειχθεί και σε άλλους σεισμούς {4, 8}. Παράλληλα θα πρέπει να αναφερθεί, ότι στην περιοχή του φράγματος και των έργων, επικρατούν λόγω της μικρής εστιακής απόστασης οι κατακόρυφες συνιστώσες μετατόπισης.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΛΟΙΠΩΝ ΕΡΓΩΝ

Το φράγμα Zipingpu αποτελεί το τελευταίο από τα αντίστοιχα έργα, τα οποία έχουν κατασκευασθεί στην κοίτη του ποταμού Min. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε στα τέλη του 2006. Έχει ύψος περί τα 156 m, το μήκος του είναι περί τα 630 m, η λεκάνη κατάκλυσης είναι χωρητικότητας $1,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ και το παραγόμενο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας είναι $3,4 \cdot 10^9 \text{ Kwh}$ ενώ τροφοδοτεί με νερό κατά την ξηρή περίοδο τεράστιες εκτάσεις. Τόσο στο ορεινό τμήμα, όσο και στην επίπεδη πεδινή δυτική περιοχή μετά την πόλη Dujiangyan υπάρχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις, που συγκεντρώνουν και σημαντικό πληθυσμό που απασχολείται σε κάθε είδους δραστηριότητα.

Ανάντη, η λεκάνη κατάκλυσης καταλαμβάνει μία πολύ μεγάλη έκταση με ιδιαίτερα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, γεγονός το οποίο κατά την διάρκεια της κατασκευής τροφοδότησε ποικίλες αντιδράσεις. Λόγω της αποκοπής των οδικών αξόνων, που υφίσταντο μέσα στον ταμιευτήρα, κατασκευάστηκε αριθμός γεφυρών, που διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των οικιστικών κέντρων. Μεταξύ των άλλων, μία υψηλή γέφυρα μέσα στην λεκάνη κατάκλυσης, που συνδέει τις δύο όχθες του ταμιευτήρα, κατέρρευσε μερικώς από το σεισμό αποκόπτοντας την επικοινωνία με εκτεταμένες περιοχές.

Το φράγμα, τα συνοδά έργα και ο ταμιευτήρας αναπτύσσονται σε κλαστικά πετρώματα της ενότητας Pengguan Massif {2}. Τα πετρώματα κατά θέσεις είναι έντονα τεκτονισμένα και κατακερματισμένα, λόγω της τεκτονικής καταπόνησης που υπέστησαν, ενώ επιφανειακά αναπτύσσεται κατά θέσεις εδαφικός μανδύας πάχους αρκετών μέτρων.

Το φράγμα Zipingpu είναι ένα φράγμα βαρύτητας, που στο δεξιό άκρο του περιλαμβάνει τον υπερχειλιστή, κατάντη έχει κατασκευασθεί η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, ενώ 200 περίπου μέτρα από το φράγμα προς τα κατάντη ευρίσκεται και η έξοδος του εκκενωτή πυθμένα – σήραγγας εκτροπής (Εικ. 3).

Σε όλη την περιοχή του δεξιού και του αριστερού πρानού, αλλά και σε πολλά σημεία μέσα στην λεκάνη κατάκλυσης, έχουν κατασκευασθεί εκτεταμένα έργα σταθεροποίησης των βραχωδών σχηματισμών. Τα έργα κυρίως περιλαμβάνουν πυκνό δίκτυο αγκυρίων με παράλληλη επικάλυψη της επιφάνειας του πρानού με σκυρόδεμα, ενώ κατά θέσεις υπάρχουν πλέγματα από σκυρόδεμα.



Εικόνα 3: Άποψη του κατάντη αντερείσματος του φράγματος με εμφανή αποδόμηση των όγκων επικάλυψης. Διακρίνεται η υδροηλεκτρική μονάδα και ο εκκενωτής που βρίσκεται σε λειτουργία (βέλος).

4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

4.1 Αστοχίες στο σώμα του φράγματος

Στο σώμα του φράγματος εμφανίστηκαν σημαντικές αστοχίες, οι οποίες είναι εύκολα ορατές λόγω κυρίως των παραμορφώσεων, που παρατηρήθηκαν.

Ειδικότερα, στις δύο πλευρές του φράγματος και στα πρώτα 20 m παρατηρήθηκαν εγκάρσιες θραύσεις από τις καθιζήσεις στο σώμα του φράγματος (Εικ. 4). Η καθίζηση στο αριστερό άκρο μετρήθηκε σε 20 cm, ενώ η μετακίνηση στο δεξιό άκρο στο σημείο επαφής του υλικού του φράγματος με τον υπερχειλιστή, ο οποίος ήταν σχετικά άκαμπος και κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα, ήταν της τάξης των 30 cm (Εικ. 5).

Παράλληλα προς το κεντρικό σημείο του φράγματος παρατηρήθηκαν εγκάρσιες θραύσεις της τάξεως των 10-15 cm με παράλληλη αντίστοιχη παραμόρφωση της εξωτερικής επικάλυψης του σώματος του φράγματος από ογκόλιθους. Λόγω της καθίζησης του κεντρικού τμήματος του φράγματος, παρατηρήθηκαν πρόσθετα φαινόμενα σύνθλιψης στο κορυφαίο τμήμα της στέψης του φράγματος, το οποίο ήταν σχετικά άκαμπο (Εικ. 6, 7).

Τέλος, παρατηρήθηκαν θραύσεις στην προς ανάντη επικάλυψη του σώματος του φράγματος, το οποίο ήταν κατασκευασμένο από σκυρόδεμα.



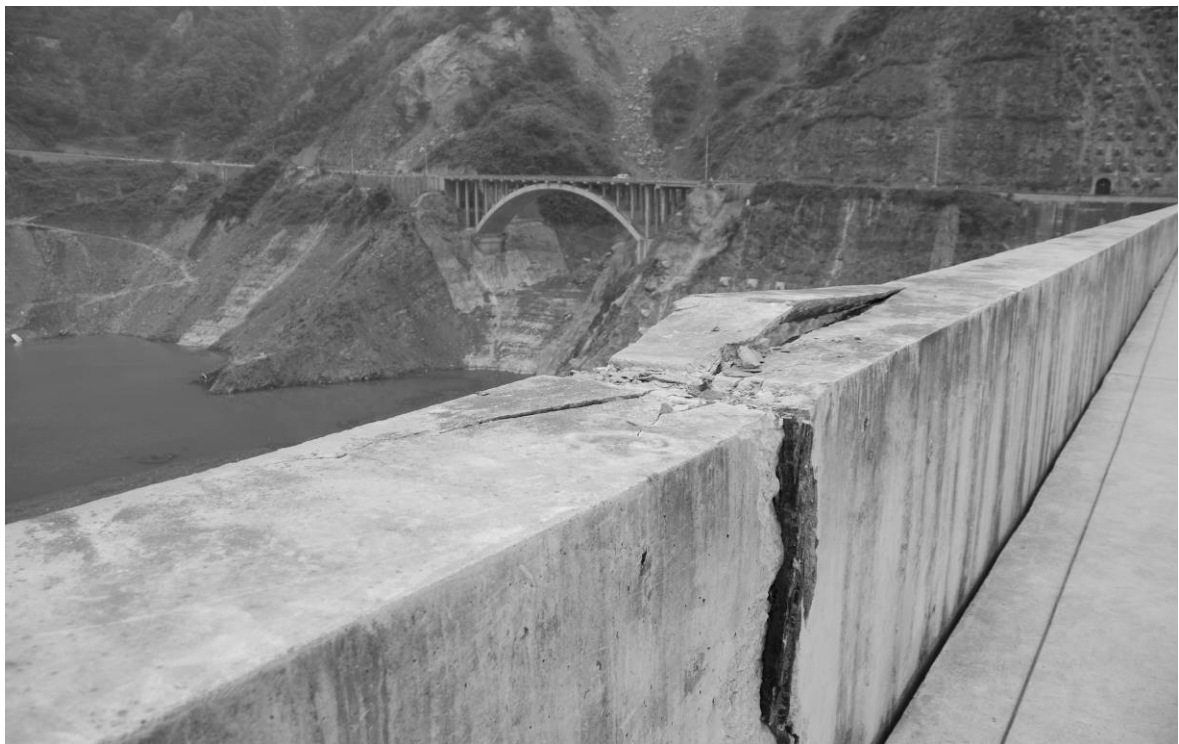
Εικόνα 4: Διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση του σώματος του φράγματος κατά 20cm στο αριστερό άκρο.



Εικόνα 5: Εγκάρσιες θραύσεις στον άξονα του φράγματος στην δεξιά πλευρά λόγω διαφορετικής καθίζησης του σώματος του φράγματος σε σχέση με το άκαμπτο τμήμα του υπερχειλιστή.



Εικόνα 6: Αποψη της καθίζησης κατά 40cm του πυρήνα του φράγματος και των συνοδών ζημιών που προκάλεσε. Πίσω από το φράγμα διακρίνονται οι τεράστιες κατολισθήσεις, που αναπτύχθηκαν στο πρυνές της λεκάνης κατάκλυσης.



Εικόνα 7: Αστοχία στη στέψη του φράγματος Zipingpu, που προήλθε από συμπίεση των σχετικά άκαμπτων στοιχείων, λόγω της καθίζησης του σώματος του φράγματος.

4.2 Αστοχίες στα πρανή εκατέρωθεν του φράγματος

Παρά το γεγονός ότι στα πρανή, που βρίσκονται στις εκατέρωθεν πλευρές του φράγματος, είχαν πραγματοποιηθεί έργα σταθεροποίησης που περιλάμβαναν ένα δίκτυο πυκνών αγκυρίων με επικάλυψη από οπλισμένο σκυρόδεμα, εντούτοις τα πρανή αστόχησαν στο κορυφαίο τμήμα τους, εκεί όπου ο οπλισμός του πρανού δεν ήταν προφανώς επαρκής (Εικ. 8, 9). Στους ογκόλιθους που μετακινήθηκαν δεν παρατηρήθηκε σημαντική οριζόντια μετακίνηση και δεν απείχαν πολύ μετά την πτώση από τη βάση του κατακόρυφου σχεδόν πρανού, γεγονός το οποίο δείχνει ότι η οριζόντια ώθηση δεν πρέπει να είχε αναπτυχθεί.



Εικόνα 8: Επιμήκης διάρρηξη μήκους 300 και πλέον μέτρων, η οποία είχε μέγιστο εύρος περί τα 60 cm, γεγονός το οποίο φανερώνει μια αντίστοιχη παραμόρφωση με όλο το σώμα του φράγματος (α). Άποψη του αριστερού πρανού στον άξονα του φράγματος το οποίο είχε οπλιστεί με πυκνό κάναβο αγκυρίων, διακρίνεται στο κορυφαίο τμήμα η κατάρρευση ογκολίθων (β).

4.3 Αστοχίες στα πρανή ανάντη του άξονα του φράγματος στη λεκάνη κατάκλυσης

Στα πρανή της λεκάνης κατάκλυσης παρατηρήθηκαν μεγάλες εκταταμένες κατολισθήσεις, οι οποίες έφτασαν μέχρι το επίπεδο της στάθμης του νερού της λίμνης. Συνολικά εκδηλώθηκαν δεκάδες κατολισθήσεις, σε ορισμένες από τις οποίες ο όγκος των υλικών υπερβαίνει το 1.000.000 m³. Επρόκειτο κυρίως για κατολισθήσεις ψαμμιτικών οριζόντων μεγέθους μερικές φορές πάνω από 1.000 m³, καθώς επίσης και για ροές κορημάτων (Εικ. 10, 11). Οι κατολισθήσεις που εκδηλώθηκαν απέκοψαν μεγάλο τμήμα του οδικού δικτύου και την πρόσβαση σε πόλεις και χωριά, τα οποία είχαν υποστεί καθολικές καταστροφές. Η εκδήλωση των κατολισθήσεων επηρέασε και τον υδάτινο όγκο του ταμιευτήρα, ενώ η διακύμανση της στάθμης φαίνεται, ότι δεν επηρέασε αυτό καθαυτό το φράγμα.



Εικόνα 9: Άποψη βραχωδών όγκων που κατολίσθησαν στο αριστερό πρανές πάνω στη στέψη του φράγματος

4.4 Αστοχίες στα πρανή κατάντη του άξονα του φράγματος

Και στα πρανή στα κατάντη του φράγματος εκδηλώθηκαν μεγάλης κλίμακας κατολισθήσεις κυρίως στο δεξιό αντέρεισμα. Οι κατολισθήσεις εκδηλώθηκαν και στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρά το γεγονός, ότι είχαν γίνει εκτεταμένα έργα αντιστήριξης με πυκνό δίκτυο αγκυρώσεων σε μία τεράστια περιοχή ανάντη του υδροηλεκτρικού σταθμού και των λοιπών έργων. Πρόσθετα είχαν κατασκευασθεί και άλλα έργα ενίσχυσης, όπως για παράδειγμα δίκτυα συγκράτησης και δίκτυα σκυροδέματος κυρίως στα κορυφαία τμήματα του πρανούς (Εικ. 12).

Παρά το γεγονός αυτό, εκδηλώθηκαν εκτεταμένα φαινόμενα πάνω ακριβώς από την έξοδο του εκκενωτή πυθμένα, την οποία και έφραζαν, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του μόλις διαπιστώθηκαν οι ζημιές στο σώμα του φράγματος (Εικ. 13).

5 ΑΙΤΙΑ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

5.1 Αίτια αστοχία στο σώμα του φράγματος

Η γεωμετρική κινηματική ανάλυση των εγκάρσιων διαρρήξεων στις εκατέρωθεν πλευρές έχουν ένα εφελκυστικό χαρακτήρα και υποδεικνύουν καθίζηση του όλου σώματος του φράγματος. Πρόσθετα τούτο επιβεβαιώνεται από την διόγκωση της εξωτερικής του κατάντη πλευράς αλλά και από τα φαινόμενα σύνθλιψης στα κορυφαία άκαμπτα στοιχεία της στέψης του στο κέντρο ακριβώς του φράγματος.

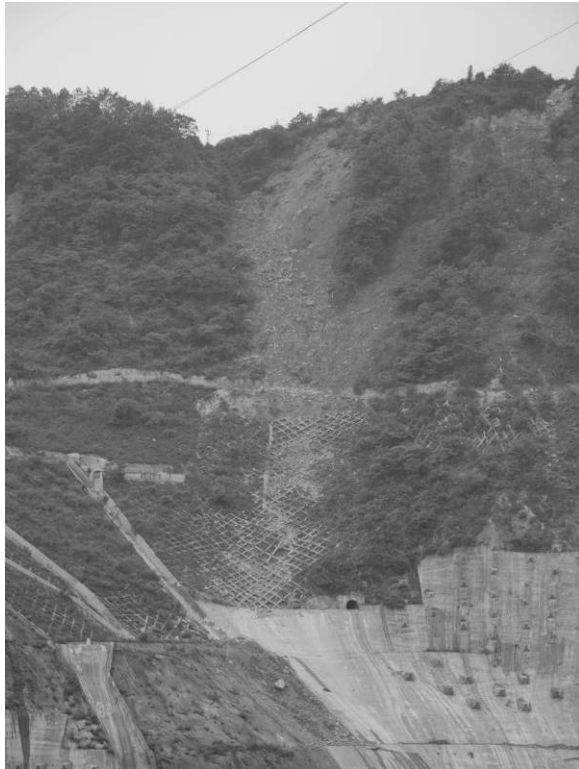
Πέραν όμως από την καθίζηση του σώματος του φράγματος, σημειώθηκε και διαφορική καθίζηση – υποχώρηση των υλικών στήριξης σε σχέση με τον πυρήνα του φράγματος, γεγονός το οποίο υποδεικνύεται από την επιμήκη διάρρηξη στο εξωτερικό κατάντη τμήμα της στέψης.



Εικόνα 10: Άποψη πρανούς, το οποίο αστόχησε παρά τα εκτελεσθέντα έργα σταθεροποίησης.



Εικόνα 11: Άποψη πρανούς, το οποίο αστόχησε παρά τα εκτελεσθέντα έργα σταθεροποίησης, που περιλάμβαναν πυκνό κάναβο αγκυρίων.



Εικόνα 12: Κατολισθήσεις – καταρρεύσεις στο κορυφαίο τμήμα του πρανούς παρά τα έργα σταθεροποίησης. Διακρίνονται τα δίκτυα συγκράτησης από σκυρόδεμα, τα οποία αστόχησαν.



Εικόνα 13: Άποψη του δεξιού κατάντη πρανούς του φράγματος στο οποίο ευρίσκονται ο υπερχειλιστής, το εργοστάσιο ηλεκτρικής ενέργειας και η έξοδος του εκκενωτή πυθμένα που έχει τεθεί σε λειτουργία. Διακρίνονται τα εκτεταμένα έργα σταθεροποίησης των πρανών και οι κατολισθήσεις, οι οποίες εκδηλώθηκαν. Τα υλικά μιας εκ των κατολισθήσεων έφραξαν την έξοδο του εκκενωτή πυθμένα.

5.2 Αίτια αστοχιών στα πρανή

Τα εκτεταμένα φαινόμενα αστάθειας που εκδηλώθηκαν στα εκατέρωθεν του φράγματος πρανή όσο και στην ευρύτερη περιοχή του ταμιευτήρα παρά τα μεγάλης έκτασης έργα προστασίας είναι δυνατόν να αποδοθούν πρωτίστως στις υφιστάμενες αρνητικές γεωμορφολογικές, γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες.

Κυρίως όμως τα εκτεταμένα φαινόμενα κατάρρευσης οφείλονται στην ένταση της σεισμικής δόνησης η οποία εμπεριείχε μεγάλη κατακόρυφη μετατόπιση και επιτάχυνση δεδομένης της μορφής, του τρόπου και της θέσης των υλικών που κατολίσθησαν.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι τεράστιες επιπτώσεις όχι μόνο στο φράγμα του Zipingpu και στα συνοδά του έργα αλλά και σε μεγάλο αριθμό φραγμάτων και έργων στην επαρχία Sichuan της Κίνας από το σεισμό των 7.9R της 12^{ης} Μαΐου 2008 επαναθέτει το θέμα της ασφάλειας των συγκεκριμένων έργων και της αντισεισμικής τους προστασίας σε νέες βάσεις.

Καταρχάς, είναι γεγονός ότι η τεχνογνωσία κατασκευής φραγμάτων στην Κίνα βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα δεδομένης της εμπειρίας, που υπάρχει από την κατασκευή χιλιάδων έργων, αλλά και των ελάχιστων αστοχιών, που έως τώρα έχουν παρατηρηθεί είτε σε περιόδους σεισμικής έξαρσης, είτε όχι. Πρόσθετα θα πρέπει να τονισθεί, ότι το συγκεκριμένο φράγμα έχει κατασκευασθεί προσφάτως, οπότε η στάθμη ασφαλείας είναι ευνόητα υψηλή.

Δεύτερον, θα πρέπει να υπογραμμισθεί ότι το μέγεθος της σεισμικής δόνησης ήταν υψηλό και μάλιστα το επίκεντρο πολύ κοντά (<15 km) στα έργα της περιοχής, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η κατακόρυφη συνιστώσα της μετατόπισης αλλά και η υψίσυχη φάση κυριάρχησε. Παράλληλα το τεκτονικό τέμαχος, στο οποίο ευρίσκοντο όλα τα έργα αντιστοιχούσε στο υπερκείμενο ανάστροφο τέμαχος, που κινήθηκε ανοδικά πάνω από το σεισμικό ρήγμα, δηλαδή στο ονομαζόμενο hanging wall. Το γεγονός αυτό σημαίνει, ότι η συγκεκριμένη περιοχή δέχθηκε το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής επιβάρυνσης και ενέργειας {4, 8}.

Τρίτον, οι μορφολογικές, γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής συνθέταν ένα κατ' εξοχήν αρνητικό πλαίσιο για την ανάπτυξη αστοχιών, τόσο στο έργο, αλλά και στην εκδήλωση συνοδών γεωδυναμικών φαινομένων και κυρίως κατολισθήσεων στην ευρύτερη περιοχή.

Τέταρτον, οι αστοχίες που αναπτύχθηκαν στο σώμα του φράγματος, και ειδικά η καθίζηση στο κεντρικό τμήμα σε σχέση με τις πλευρές έδρασης κατά 30 cm περίπου, η απόκλιση στις ανάντη και κατάντη πλευρές σε σχέση με τον πυρήνα σε διαμήκη αστοχία της τάξεως των 30 cm περίπου, δικαιολογούνται απόλυτα στην γεωμετρική και δυναμική έκφραση από το είδος της και τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης, στην οποία επαναλαμβάνεται, ότι επικράτησε η κατακόρυφη συνιστώσα, αλλά και την κατακόρυφη κίνηση όλου του επιππεύοντος ρηξιτεμάχους.

Πέμπτον, η εκδήλωση των κατολισθήσεων με μορφή κατάρρευσης σε πρανή με μεγάλη κλίση τόσο στα περιθώρια της λεκάνης κατάκλυσης, όσο και στα πρανή εκατέρωθεν κοντά στα συνοδά έργα του φράγματος, οφείλεται τόσο στους μορφολογικούς, γεωλογικούς και γεωτεχνικούς παράγοντες, όσο και στην επικράτηση μεγάλων κατακόρυφων κινήσεων και επιταχύνσεων.

Έκτον, τίθεται ένα σημαντικότερο πρόβλημα που είναι η ασφάλεια των περιοχών κατάντη του φράγματος, όπου βρίσκονται σημαντικές πόλεις και αναπτύσσεται πλήθος δραστηριοτήτων, αλλά και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που είναι δυνατό να υπάρχουν από την καταστροφή των έργων αυτών.

Συμπερασματικά θα πρέπει να αναφερθεί, ότι για τις δυσμενέστερες συνθήκες, που υφίσταντο στην ευρύτερη περιοχή, το φράγμα Zipingpu συμπεριφέρθηκε αρκετά ικανοποιητικά κατά τον σεισμό των 7.9R της 12^{ης} Μαΐου 2008. Παράλληλα όμως τίθεται σε αμφισβήτηση κατά πόσο τα

συγκεκριμένα έργα σε ανάλογες δυναμικές – σεισμοτεκτονικές και γεωτεχνικές συνθήκες θα μπορούσαν να ανταποκριθούν σε σεισμική φόρτιση, ειδικά όταν είναι μεγαλύτερης κλίμακας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Burchfiel, B.C., Chen, Z., Liu, Y., Royden, L.H. 1995. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China. *International Geological Review*: 37.
2. Densmore A.L., Ellis, M.A., Li, Y., Zhou, R., Hancock, G.S. & Richardson, N. 2007. Active tectonics of the Beichuan and Pengguan faults at the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonics*: 26.
3. Gan, W. J., Zhang, P. Z., Shen, Z. K., Niu, Z. J., Wang, M., Wan, Y. G., Zhou, D. M. & Cheng, J. 2007. Present-day crustal motion within the Tibetan Plateau inferred from GPS measurements. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*: 112.
4. Lekkas, E. 2000. New data for seismic hazard analysis. *Risk Analysis*, Ed. C.A. Brebbia. Wit Press, Vol. 3: 245-255.
5. Royden, L.H., Burchfiel, B.C., & Van der Hilst, R.D. 2008. The geological evolution of the Tibetan Plateau. *Science*.
6. USGS. <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recenteqsww/Quakes/us2008ryan.php>
7. Zhang, P. Z., Shen, Z., Wang, M., Gan, W. J., Burgmann, R. & Molnar, P. 2004. Continuous deformation of the Tibetan Plateau from global positioning system data, *Geology*, 32: 809-812.
8. Λέκκας, Ε. 2007. Ο ρόλος των τεκτονικών δομών στη διαμόρφωση των σεισμικών εντάσεων. Συμπόσιο Τεκτονικής Γεωλογίας προς τιμήν του Ομότιμου Καθηγητή Ηλία Μαριολάκου, Επιτροπή Τεκτονικής Γεωλογίας, abstracts, 3.

Wenchuan Earthquake (Mw 7.9, 12 May 2008) Sichuan, China.

Geotectonic regime and Macro-distribution of Disasters

Eyfthymios LEKKAS– Professor, Faculty of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, email: elekkas@geol.uoa.gr

SCOPE

The scope of this paper is to record the damages that were observed after the earthquake on the 12th of May 2008 that stroke the Sichuan Prefecture, in order to estimate the seismic intensity according to the EMS-1998 and determine the correlation of the damage distribution in relation to the existing geodynamic and seismotectonic regime or the area.

METHODOLOGY

For the estimation of the seismic intensity the damages in the residential and surrounding areas that were affected by the earthquake were recorded. The geographic distribution of the intensities according to the EMS-1998 was correlated with the existing seismotectonic and geodynamic conditions of the wider area that were determined by historical data and in-situ observations.

CONCLUSIONS

Through the research, three macro-scale intensity distribution zones were identified, which correspond to three different areas of particular morphological, geological, geotechnical and seismotectonic-geodynamic conditions.

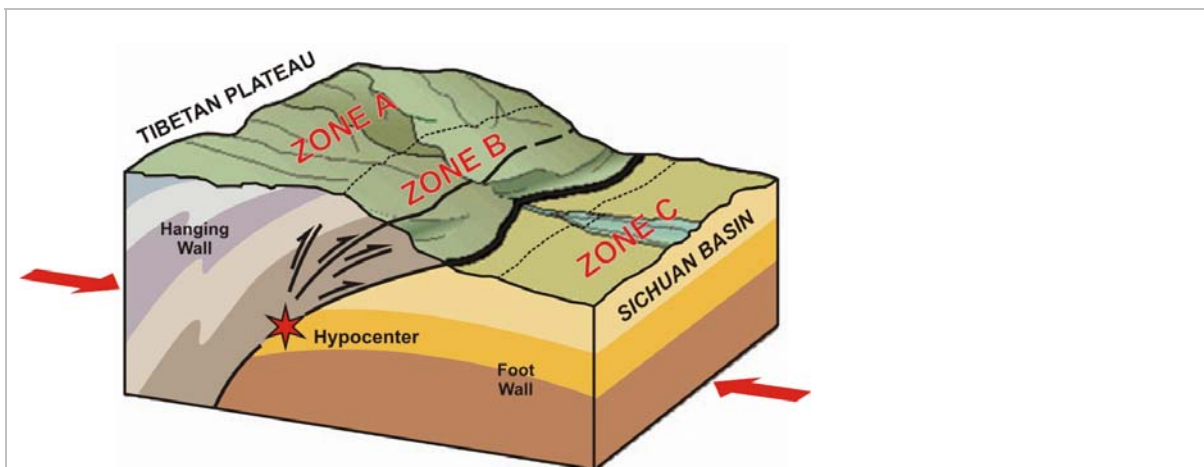


Figure 1. 3-D model of the area that was affected by the Mw 7.9R earthquake on the 12th of May 2008 which represents the existing geodynamic-morphotectonic regime, the seismic fault and the macro-scale seismic intensity distribution zones.

