

Instrumentalizacja próbnych obciążeń statycznych pali fundamentowych

Raport z budowy w Karachi (Pakistan)

Ekstensometry i tensometry są instrumentami wykorzystywanymi w próbnym obciążeniu statycznym, służącymi zarówno weryfikacji nośności pali jak i optymalizacji rozwiązań projektowych fundamentów głębokich. Standardowe próbne obciążenia statyczne nie dają wystarczającej wiedzy o rozkładzie nośności wzdłuż pobocznic i w podstawie pala. Wykorzystanie nowoczesnych metod pomiarowych pozwala niejednokrotnie na zaprojektowanie pali krótszych o nośności wystarczającej do przeniesienia projektowanych obciążeń. Znakomitym tego przykładem są badania wykonane przez polskich inżynierów na budowie ekskluzywnych apartamentowców w jednym z najbardziej zaludnionych miast świata – Karachi w Pakistanie. Inwestorem jest pochodząca z Singapuru firma Meinhardt a wykonanie fundamentów i ich badań zostało powierzone konsorcjum IVCC Bachy Soletanche i PMC Precision Monitoring & Control Ltd.

Opis budowy

Zespół ośmiu trzydziestopiętrowych budynków apartamentowych zlokalizowany jest tuż u wybrzeża Morza Arabskiego. Wpływy sejsmiczne zmusiły projektantów do zastosowania dużych współczynników bezpieczeństwa. Obciążenia z wieżowców są przekazywane na pale fundamentowe o nośności 10MN. Geologię stanowią tu głównie średniozagęszczony piasek a podstawy pali zagłębione są w skałę. W pierwszej fazie wykonano pale kontrolne (pilot piles), na których przeprowadzono zinstrumentalizowane próbne obciążenia statyczne. Weryfikacja założeń projektowych oparta na wynikach badań pozwoliła na skrócenie długości pali średnio z 30 m do 24 m (20%), co przy stosunkowo niewielkim nakładzie na rozszerzony program badań daje olbrzymie oszczędności.

Technologia wykonania pali

Technologia RRC (Reverse Rotary Circulation) umożliwia zastosowanie lekkich i prostych w obsłudze wiertnic do wykonania odwiertów pali wielkich średnic (1500 mm) o głębokości do 35 m. Odwiert jest stabilizowany zawieszoną bentonitową, która jest wykorzystywana równocześnie jako płuczka ssąca do wydobywania urobku przez żerdź. W odróżnieniu od technologii płuczki ciśnieniowej DRC (Direct Rotary Circulation) zawieszona bentonitowa jest podawana od góry odwiertu. Technologia płuczki ssącej jest z powodzeniem wykorzystywana podczas robót prowadzonych w rozmaitych gruntach, nawet w twardych skałach. Cykl wykonania pojedynczego pala nie jest znacząco dłuższy



Rys. 1., Rys. 2. Wizualizacje budynków apartamentowych



Fot. 1. Wiercenie pali w technologii RRC

niż w przypadku pali wierconych w rurach obsadowych wyciąganych, a wykonawca zamiast kilku kosztownych wiertnic dysponuje kilkunastoma nieskomplikowanymi maszynami skracając tym samym termin zakończenia robót. Palowanie z użyciem tej metody wymaga jednak przemyślanego projektu organizacji robót: odstojniki zawiesziny bentonitowej zlokalizowane są zwykle w centrum placu budowy a tymczasowe kanały doprowadzają do poszczególnych odwiertów świeżą płuczkę.

Program badań

Zinstrumentalizowane próbne obciążenia są przeprowadzane najczęściej na palach kontrolnych (pilotowych) jeszcze przed rozpoczęciem właściwych robót palowych. Wówczas projektant dysponuje możliwością zweryfikowania założeń i ewentualnie redukuje długości lub średnice projektowanych pali. Pozostałe badania wykonuje się z powszechnie przyjętymi standardami: próbnego obciążenia statyczne i dynamiczne, badania ciągłości metodą Sonic Echo oraz prześwietlenie pali ultradźwiękami metodą Crosshole Sonic Logging. Badania wykonuje się w ilości zależnej od stopnia skomplikowania warunków geotechnicznych i ogólnej liczby pali. Na przedmiotowej budowie wykonano:

- 8 zinstrumentalizowanych próbnego obciążenia siłą 30MN (przeciążenie 300%) na palach pilotowych (ultimate compression on instrumented preliminary piles),
- 22 standardowe próbne obciążenia statyczne siłą do 20MN (przeciążenie 200%),
- 38 badań dynamicznych (Dynamic Load Tests) z użyciem specjalnie do tego celu skonstruowanego kafaru o ciężarze 35 ton, jak dotąd jednego z największych,
- badania ciągłości na wszystkich palach.

Należy zwrócić uwagę na doskonałą korelację wyników badań statycznych i dynamicznych. Pomiar siły w trakcie wszystkich próbnego obciążenia statycznych został przeprowadzony z użyciem elektronicznych dynamometrów oraz indukcyjnych czujników przemieszczeń. Czas trwania jednego próbnego obciążenia statycznego wynosił nawet 80 godz. i składał się z trzech cykli: 150%, 200% i 300% przy czym w pierwszych dwóch cyklach maksymalna wartość obciążenia trwała 24 godz. Automatyczne sterowanie układem pompa – siłownik oraz zdalna rejestracja wszystkich parametrów testu zostały zapewnione przez komputery Data Logger. Badania siłą 30MN wykonano z użyciem 4 pali kotwiących natomiast mniejsze testy wykonywano z użyciem balastu. Zastosowane kryterium stabilizacji osiadań w próbnego obciążeniach zostało określone zgodnie ze standardami Ove Arup - wynosiło 0.10 mm/godz. i było trzykrotnie bardziej rygorystyczne od stosowanego w Polsce 0.05 mm/10 min.

Ekstensometry (rod extensometers)

Nazwa ekstensometr jest myląca (ang. extension – przedłużenie), ponieważ w trakcie badania dokonuje się pomiaru nie wydłużenia, lecz skrócenia długości poszczególnych odcinków pala pod zadaniem obciążeniem. Pozornemu wydłużeniu, a raczej wysunięciu podlegają pręty zagłębione swobodnie w rurach dostępowych. Rury te (o różnych długościach) mocuje się do kosza zbrojeniowego przed betonowaniem pala. Im głębiej zainstalowana jest rura ekstensometru tym większy skrót pala zostanie zarejestrowany w próbnego obciążeniu.



Fot. 2. Zinstrumentalizowany test 30 000 kN



Fot. 3. Ekstensometry w palu gotowym do badań



Fot. 4. Stanowisko balastowe 20MN



Fot. 5. Układ belek w teście 30MN

Tensometry (strain gauges)

Znaczenie tensometrów w zinstrumentalizowanych badaniach pali ma charakter podobny do ekstensometrów. Jednostką pomiaru w przypadku tensometrów jest micro-strain. Metody mogą być stosowane równolegle dla zwiększenia dokładności pomiaru. Tensometry są mocowane do zbrojenia głównego pala po 4 szt. w kilku poziomach. O rozkładzie tensometrów na poszczególnych rzędnych decyduje projektant w zależności od układu warstw geotechnicznych. Instalacja tensometrów w pięciu poziomach (tj. 20 czujników) wymaga zastosowania multiplexera i komputera Data Logger. Drugi, siostrzany komputer synchronicznie rejestruje odczyty z siedmiu czujników indukcyjnych: 4 czujniki rozmieszczone standardowo na głowicy pala i 3 czujniki ekstensometrów.

Założenia teoretyczne

Pracę pala fundamentowego charakteryzują znacznie mniejsze odkształcenia w jego podstawie niż w głowicy. Obciążenie dociera tylko częściowo do niższych partii, reszta jest absorbowana przez pobocznice. Prawo Hooke'a pozwala na określenie rozkładu tej zależności ze wzoru:

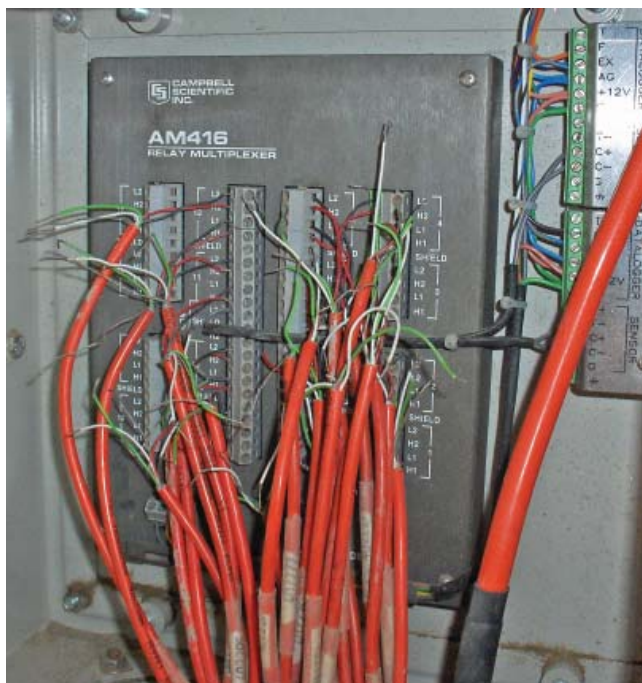
$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$

, gdzie: F – siła, S – powierzchnia przekroju, E – moduł Young'a, Δl – skrót pala, l – długość pala.

W zinstrumentalizowanych próbnym obciążeniach statycznych poszukiwaną wartością jest F – siła przenoszona do rzędnej zainstalowania ekstensometrów lub tensometrów. Dla instrumentów zlokalizowanych w podstawie pala siła F będzie zmobilizowanym oporem podstawy pala. W przypadku krótszych tensometrów i ekstensometrów rozmieszczonych wzdłuż trzonu pala bierze się pod uwagę różnicę obciążenia przyłożonego w głowicy i siły zarejestrowanej na danej głębokości, obliczając w ten sposób opór pobocznic. Liczba oraz długość poszczególnych ekstensometrów jak i lokalizacja tensometrów jest rozpatrywana w oparciu o układ warstw gruntowych i zależy od projektanta fundamentu. Odczyty z instrumentu zlokalizowanego najbliżej głowicy dają podstawę do precyzyjnego określenia modułu Young'a betonu – tarcie pobocznic jest dla tych obliczeń pomijane. Podstawiając do wzoru znane z próbnego obciążenia wartości: E – moduł Young'a, Δl – skrót ekstensometru, l – głębokość zainstalowania ekstensometru i S – powierzchnia przekroju pala, możemy określić rozkład oporu wzdłuż pobocznic i siłę przekazywaną do podstawy pala.

Wnioski

Próbnym obciążenia z użyciem ogólnie dostępnych instrumentów nie są sprecyzowane w Polskich normach, a co za tym idzie nie są znane projektantom. Coraz częściej są stosowane przy realizacji budowli według projektów zachodnich. Badania naukowe powinny skupić się aktualnie na wypracowaniu standardów dla potrzeb naszego rynku.



Fot. 6. Multiplexer z podłączonymi 20 tensometrami.



Fot. 7. Synchroniczna rejestracja wyników przez komputery typu Data Logger.



Fot. 8. Automatyczne utrzymywanie siły pompą hydrauliczną sterowaną komputerowo.

autor

mgr inż. Ryszard Rippel
PMC Polska sp. z o.o.